

BÉTON ET CONSTRUCTIONS HQE®

Intérêt du béton pour la
conception d'entrepôts HQE®
et de zones logistiques



BÉTON ET CONSTRUCTIONS HQE®

Intérêt du béton pour la
conception d'entrepôts HQE®
et de zones logistiques

Introduction

● L'entrepôt est l'une des pierres angulaires du réseau logistique. C'est un lieu de passage où il faut gérer un nombre important de flux. La compétitivité est primordiale, les besoins de gestion efficace y sont prépondérants.

Dans un contexte d'augmentation des besoins d'approvisionnement et des transferts de marchandises entre secteurs sans oublier un fort développement du commerce électronique, les plates-formes logistiques s'agrandissent et se multiplient : plus de 107 millions de m² d'entrepôts ont été mis en chantier depuis 1980¹

- 1/3 ont plus de 5 000 m²;
- 1/5 ont plus de 10 000 m², soit 40 % des surfaces construites depuis 2004 contre 15 % avant 1990.

Sauf cas particuliers liés en général au process ayant lieu dans le bâtiment, les entrepôts sont chauffés à moins de 12 °C (échappant ainsi à la conformité de la Réglementation Thermique 2005), ont des contraintes réglementaires de désenfumage, d'éclairage naturel et de sprinklage, mais aussi de protection au feu des cellules de stockage entre elles, etc. Ces plateformes de stockage sont agrémentées de locaux techniques et de bureaux de gestion et d'exploitation.

En règle générale, les entrepôts ont des durées d'exploitation de l'ordre de 20 ans tant pour les entrepôts de stockage que pour les messageries.

1. Source : base de données Sitadel sur les permis de construire recensés notamment les entrepôts de stockage non agricole, 2007.

Sommaire

● I - Impacts environnementaux et exigences réglementaires	7
1.1 - Impacts environnementaux des zones et entrepôts logistiques	8
1.1.1 - Nuisances visuelles	8
1.1.2 - Nuisances acoustiques	9
1.1.3 - Nuisances olfactives et pollution de l'air	10
1.1.4 - Imperméabilisation des sols	10
1.1.5 - Energie	11
1.2 - Exigences réglementaires	11
1.2.1 - Classement des ICEPE	11
1.2.2 - Aspects énergétiques et réversibilité	12
1.2.3 - Contribution du bois	13
1.2.4 - Exigences liées aux PLU	13
1.2.5 - Exigences liées aux conditions de travail	13
<hr/>	
● 2 - Propositions d'améliorations de la qualité environnementale	17
2.1 - Rappels sur la démarche HQE®	18
2.1.1 - Analyse du cycle de vie	18
2.1.2 - Démarche	19
2.1.3 - Certification NF bâtiments tertiaires	
Démarche HQE® Plateforme Logistique	19
2.2 - Bâtiments	21
2.2.1 - Sols	21
2.2.2 - Structure porteuse	22
2.2.3 - Façade	27
2.2.4 - Couverture	29
2.2.5 - Valorisation environnementale du béton	31

2.3 - Aménagements extérieurs	32
2.3.1 - Le traitement des sols	32
2.3.2 - Les routes et voies en béton	34
2.3.3 - L'emploi du béton pour les carrefours giratoires	37
2.3.4 - Le Béton de Ciment Mince Collé (BCMC)	39
2.3.5 - Voiries à faible trafic et cheminements piétons	40
2.3.6 - Stationnements – voiries perméables	42
2.3.7 - Innovation – Béton dépolluant	44
<hr/>	
● 3 - Exemples de réalisations	47
3.1 - Plateforme logistique 74 000 m² – Amiens	48
3.2 - Plateforme logistique 20 000 m² – Dagneux	50
3.3 - Plateforme logistique Panhard Développement – Brie-Comte-Robert	52
3.4 - Plateforme logistique et bureaux	
Laboratoires Panhard Développement pour Sisley	54
<hr/>	
● 4 - Annexes	57
4.1 - Analyse de cycle de vie : bilan environnemental comparé	
– bâtiment de stockage de 12 000 m	58
4.1.1 - Les principes et hypothèses de l'étude	59
4.1.2 - Les résultats	61
4.1.3 - Les conclusions	68
4.2 - Réglementation et normalisation	70
4.3 - Bibliographie	71
4.4 - Adresses et sites utiles	72
<hr/>	



Chapitre

1

Impacts environnementaux et exigences réglementaires

1.1 - Impacts environnementaux des zones et entrepôts logistiques

Les installations logistiques ont des impacts non négligeables sur l'environnement. Il peut leur être reproché les nuisances occasionnées par le trafic de poids lourds, l'impact foncier et la défiguration des paysages, la consommation des ressources notamment l'énergie consommée pour l'acheminement des marchandises ou encore pour l'éclairage du bâtiment.

1.1.1 - Nuisances visuelles

Depuis longtemps, les entrepôts logistiques bénéficient d'une mauvaise image : ils ne sont pas attrayants visuellement. En effet, ils sont souvent assimilés à des boîtes aux couleurs sombres ayant une trop grande emprise foncière et ne s'intégrant pas dans l'environnement. Actuellement, de nombreux efforts de la part des différents acteurs permettent d'aboutir à des résultats de plus en plus probants : études paysagères et végétalisation du site, utilisation de matériaux et de couleurs agréables permettant un meilleur confort visuel et une meilleure intégration dans le paysage.

Travailler à l'intérieur d'un entrepôt logistique peut présenter quelques contraintes : tâches éprouvantes et répétitives, manque de lumière naturelle, sensations d'inconfort dues à des températures mal adaptées par exemple. Tout ceci entraîne dans certains cas différents maux aboutissant à des Troubles Musculo-Squelettiques (TMS), un absentéisme accru, une baisse importante de productivité ou encore une multiplication des accidents de travail. Afin de pallier ce genre de désagréments, il est important de concevoir des bâtiments privilégiant le confort des occupants qui favorisent donc l'accès à la lumière naturelle et aux vues extérieures, le confort thermique (confort d'été et d'hiver) et qui permettront d'effectuer les tâches courantes dans les meilleures conditions (sol sans aspérités réduisant les chocs lors de la manipulation des engins de manutention par exemple).



1.1.2 - Nuisances acoustiques

Le nombre d'occupants d'un entrepôt logistique dépend de l'activité de ce dernier : simple entrepôt de stockage ou entrepôt où le picking (préparation de commandes) est réalisé. En moyenne, ce type de structure accueille 38 emplois équivalents temps plein pour 10 000 m² bâtis. Cette moyenne fluctue entre 34 et 44 entre les périodes de haute et basse activité, avec également des différences très fortes d'un établissement à l'autre².

L'entrepôt génère deux sortes de nuisances acoustiques :

- celles liées au transport, le flux de poids lourds étant généralement important et pouvant atteindre communément 200 PL/jour, parfois sans interruption nocturne ;
- celles liées aux différentes opérations de manipulation et manutention ; les ouvertures des portes, le claquement de plaques au sol, le déplacement des chariots élévateurs ; toutes les activités de chargement et déchargement sont relativement bruyantes et certaines ont lieu à l'extérieur de l'entrepôt voire à son entrée dans la zone dite de préparation, portes ouvertes.

2. Étude Alliance Logistique, 2007.

1.1.3 - Nuisances olfactives et pollution de l'air

Le trafic est l'une des principales nuisances engendrées par l'activité. En 1996, les zones logistiques ont été l'origine ou la destination de 32 % des flux de marchandises en tonnes.km contre 41 % en 2005. Toujours sur la même période, il a été observé une croissance de 51 % de l'activité des transporteurs routiers³. Ce trafic de poids lourds est une source de nuisances pour les éventuels riverains mais surtout à l'origine de la pollution et des émissions de gaz à effet de serre – sans oublier l'importante consommation de carburant qu'il implique.

Concernant les poids lourds transportant des marchandises, la norme antipollution Euro 5, applicable depuis octobre 2009, exige pour les poids lourds supérieurs à 3,5 tonnes que leur taux d'émission de NOx reste inférieur à 2,0 g/kWh et leur taux d'émission de particules inférieur à 0,02 g/kWh.

1.1.4. - Imperméabilisation des sols

Les plateformes logistiques ont la particularité d'imposer une forte imperméabilisation du site. En effet, au-delà de l'emprise du bâtiment, les surfaces de voirie nécessaires aux cours camions, voiries d'accès des secours ou encore parking véhicules légers sont très importantes. Cette imperméabilisation est non seulement néfaste à la restauration des nappes phréatiques, mais elle a aussi pour conséquence de rejeter dans le réseau public des eaux pluviales à très gros débit dans le cas d'orages violents. C'est pourquoi les municipalités et gestionnaires de ZAC imposent de plus en plus souvent une gestion maîtrisée des eaux pluviales. Cela comporte généralement :

- une imposition de séparation des eaux pluviales de toiture et de celles provenant des voiries, afin de traiter les eaux de voirie considérées polluées ;
- un débit de rejet dans le réseau public limité ou nul.

Ces règles nécessitent la mise en place des systèmes de débourbeur et séparateur à hydrocarbures, pour rejeter des eaux propres ; mais aussi de réaliser des bassins de rétention des eaux pluviales, servant de volume tampon avant rejet au réseau en débit limité ou de lieu d'infiltration sur place des eaux une fois traitées. Une partie des eaux pluviales peut également être récupérée dans une "réserve incendie" utilisable par les sapeurs pompiers en cas de sinistre.

3. Source : Enquête Transport Routier de Marchandises (TRM) en France et base de données Sitadel sur les entrepôts.

1.1.5. Énergie

Selon une étude réalisée par le promoteur anglais Gazeley, spécialiste en immobilier logistique, l'énergie consommée sur toute la durée de vie d'une plateforme logistique de 45 000 m² correspond aux besoins de 35 000 foyers britanniques sur 25 années. Ceci confirme bien le fort impact qu'une plateforme logistique peut avoir sur l'environnement. Les postes les plus consommateurs sont sans conteste l'éclairage et le chauffage ou le rafraîchissement des entrepôts.

1.2 - Exigences réglementaires

1.2.1 - Classement des ICPE (Installations Classées pour la Protection de l'Environnement)

Les entrepôts couverts de stockage de matières combustibles relèvent de différentes rubriques de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement, en fonction de la nature des produits stockés. Couramment, ils sont concernés par la rubrique 1 510 de la nomenclature qui soumet :

- à déclaration, les entrepôts couverts, ayant un volume compris entre 5 000 et 50 000 m³ et contenant plus de 500 tonnes de matières combustibles ;
- à enregistrement (nouveau régime d'autorisation simplifié créé par la loi n° 2009-179, du 17 février 2009, article 37 – arrêté du 15 avril 2010), volume supérieur ou égal à 50 000 m³ mais inférieur à 300 000 m³ ;
- à autorisation, les entrepôts couverts présentant un volume supérieur ou égal à 300 000 m³ (arrêté du 5 août 2002).

D'autres rubriques spécifiques concernent les produits alimentaires, les matières plastiques, papier, liquides inflammables, etc. Par ailleurs, certains locaux techniques des plateformes logistiques sont aussi concernés par ce classement ICPE, c'est le cas notamment des locaux de charge, locaux de production de froid, etc.

Ces rubriques font l'objet d'arrêtés ministériels sectoriels donnant des prescriptions minimales à respecter.

Un entrepôt classique est découpé en différentes cellules de stockage. Le compartimentage de l'entrepôt en cellules de tailles plus réduites est une mesure

constructive permettant de faire obstacle pendant une durée déterminée à la propagation du feu de la zone sinistrée à une autre. Parmi les mesures de maîtrise des risques essentielles pour cette activité, la réglementation 1 510 impose entre autres :

- une surface d’entreposage limitée par cellule (plafonnée à 6 000 m² dans le cas d’une cellule sprinklée) ;
- la séparation des cellules entre elles par des murs coupe-feu dépassant en toiture et en façade ;
- l’installation de système de détection et d’extinction automatique d’incendie (pour une surface de cellules inférieure ou égale à 3 000 m², la présence de système d’extinction automatique d’incendie n’est pas obligatoire) ;
- l’obligation de confiner les eaux d’extinction sur site (permet d’éviter que des eaux d’extinction d’incendie potentiellement polluées s’infiltrent dans le sol) ;
- un éloignement minimum des entrepôts de leur environnement proche (habitation, voies de circulation, établissement recevant du public, etc.) permettant ainsi d’assurer la protection de la population en cas d’accident (lié à un incendie et/ou aux flux thermiques) ;
- des dispositions pour limiter la propagation et le flux thermique (résistance au feu minimale de la structure).

1.2.2 - Aspects énergétiques et réversibilité

Comme nous l’avons dit plus haut, les zones de stockage sont en général chauffées à une température restant inférieure à 12 °C. Ainsi, elles ne sont pas soumises aux exigences de la Réglementation Thermique RT 2005. Dans ces conditions, les isolations des parois (façades-toiture) sont en général assez peu performantes pour réduire le coût d’investissement et l’inertie n’est pas un critère particulièrement recherché.

Dans certains cas cependant, par souhait du maître d’ouvrage ou compte tenu d’un process particulier, la zone entrepôt est chauffée au-delà de 12 °C, voire également rafraîchie. Afin de réduire les dépenses énergétiques à l’utilisation du bâtiment, et pour répondre aux exigences de la réglementation thermique, les parois donnant sur l’extérieur sont alors particulièrement isolées et l’inertie du bâtiment est augmentée.

Évidemment, un bâtiment ayant naturellement une bonne inertie permettra plus facilement et à moindre coût de prévoir *a posteriori* le chauffage et la conformité RT 2005 et RT 2012. **C’est notamment ce qu’offrira une façade béton.**

1.2.3 - Contribution du bois

Le décret n° 2010-273, du 15 mars 2010, relatif à l'utilisation du bois dans certaines constructions impose pour les constructions de bâtiments neufs à l'exclusion de ceux pour lesquels le maître d'ouvrage justifie de l'incompatibilité de l'utilisation de matériaux en bois avec le respect des exigences réglementaires de sécurité ou de santé ou avec une fonction du bâtiment, un volume minimal de 3 dm³ bois par m² de surface hors œuvre. Ce minimum est valable pour les constructions pour lesquelles une demande d'autorisation de construire ou une déclaration préalable a été déposée à compter de décembre 2010 (et avant le 30 novembre 2011) – après le 1^{er} décembre 2011, la quantité ne peut être inférieure à 5 dm³ par m² shon. Ce seuil étant très faible, il est facilement atteint dans les bâtiments logistiques, notamment par l'utilisation dans les bureaux. Il n'est donc pas préjudiciable à l'utilisation du béton dans les entrepôts.

1.2.4 - Exigences liées aux PLU

Les PLU et autres règlements de ZAC imposent désormais de plus en plus non seulement des critères d'emprise au sol maximale, mais aussi des coefficients d'imperméabilisation du terrain, ou encore des rejets d'eaux pluviales à un débit limité. Ces contraintes imposent de recueillir et traiter selon nécessité les eaux pluviales provenant des voiries et des toitures.

1.2.5 - Exigences liées aux conditions de travail

Comme vu précédemment, les conditions de travail des employés sont primordiales pour la compétitivité d'un entrepôt logistique, notamment afin de limiter les TMS (Troubles Musculo-Squelettiques) et les accidents de travail.

Les activités s'articulent principalement autour des engins de manutention, il est donc nécessaire que leur utilisation n'engendre pas de pénibilité au travail. Pour cela, il faut s'assurer que les sols sont parfaitement adaptés aux usages et qu'ils répondent à certaines exigences élémentaires :

- absences de défauts (aspérités, fissures, etc.) ;
- bonne résistance mécanique ;
- planéité irréprochable ;
- facilité d'entretien.

L'éclairage est également un point essentiel des conditions de travail des manutentionnaires. En plus de maximiser l'apport en éclairage naturel dans les locaux, il faut veiller à adapter l'éclairage artificiel aux différents usages.

Le Code du Travail impose un certain nombre de critères et valeurs minimaux à respecter (liste non exhaustive textes applicables au 1^{er} mai 2008).

- **Lumière naturelle** – Art. R. 4213-2 : « Les bâtiments sont conçus et disposés de telle sorte que la lumière naturelle puisse être utilisée pour l'éclairage des locaux destinés à être affectés au travail, sauf dans les cas où la nature technique des activités s'y oppose. »

- **Vues sur l'extérieur** – Art. R. 4213-3 « Les locaux destinés à être affectés au travail comportent à hauteur des yeux des baies transparentes donnant sur l'extérieur, sauf en cas d'incompatibilité avec la nature des activités envisagées. »

- **Valeurs minimales d'éclairage** – Art. R. 4223-4 : « Pendant la présence des travailleurs dans les lieux mentionnés à l'article R. 4223-1, les niveaux d'éclairage mesurés au plan de travail ou, à défaut, au sol, sont au moins égaux aux valeurs indiquées dans le tableau suivant.

Locaux affectés au travail et leurs dépendances	Valeurs minimales d'éclairage
Voies de circulation intérieure	40 lux
Escaliers et entrepôts	60 lux
Locaux de travail, vestiaires, sanitaires	120 lux
Locaux aveugles affectés à un travail permanent	200 lux

Espaces extérieurs	Valeurs minimales d'éclairage
Voies de circulation extérieure	10 lux
Espaces extérieurs où sont effectués des travaux à caractère permanent	40 lux

Dans les zones de travail, le niveau d'éclairage doit en outre être adapté à la nature et à la précision des travaux à exécuter. »

• **Valeurs minimales d'aération** – pour les locaux à pollution non spécifique :

– Ventilation naturelle Art. R. 4222-5: « L'aération par ventilation naturelle, assurée exclusivement par ouverture de fenêtres ou autres ouvrants donnant directement sur l'extérieur, est autorisée lorsque le volume par occupant est égal ou supérieur à :

1. 15 mètres cubes pour les bureaux et les locaux où est accompli un travail physique léger ;
2. 24 mètres cubes pour les autres locaux.

– Ventilation mécanique Art. R. 4222-6: « Lorsque l'aération est assurée par ventilation mécanique, le débit minimal d'air neuf à introduire par occupant est fixé dans le tableau suivant.

Désignation des locaux	Débit minimal d'air neuf par occupant (en m³/h)
Bureaux, locaux sans travail physique	25
Locaux de restauration, locaux de vente, locaux de réunion	30
Ateliers et locaux avec travail physique léger	45
Autres ateliers et locaux	60



Chapitre

2

Propositions d'améliorations de la qualité environnementale

2.1 - Rappels sur la démarche HQE®

2.1.1 - Analyse du cycle de vie

L'ACV est une méthode d'évaluation environnementale qui permet de quantifier les impacts d'un produit (qu'il s'agisse d'un bien, d'un service voire d'un procédé) sur l'ensemble de son cycle de vie, depuis l'extraction des matières premières qui le composent jusqu'à son élimination en fin de vie, en passant par les phases de distribution et d'utilisation. Outil normalisé et reconnu, l'ACV est la méthode la plus aboutie en termes d'évaluation globale et multicritère. Elle résulte de l'interprétation du bilan quantifié des flux de matières et énergies liés à chaque étape du cycle de vie des produits, exprimée en impacts potentiels sur l'environnement.

L'ACV est aujourd'hui définie par les normes internationales ISO 14040 (1997) à 14043 (2000), qui spécifient le cadre, les principes généraux ainsi que les exigences pour la réalisation d'ACV, et la communication relative à ces études.

L'ACV peut avoir trois types d'application.

- **L'évaluation des produits au cours d'une démarche d'éco-conception :** l'ACV s'intègre en amont d'une telle démarche conduite par une entreprise dans l'objectif d'optimiser un produit sur l'ensemble de son cycle de vie
- **L'évaluation de filières :** une meilleure connaissance des avantages/inconvénients environnementaux des filières peut permettre d'éclairer les décisions dans le cadre de politiques publiques visant à favoriser le développement de filières à moindre impact sur l'environnement
- **L'approfondissement des connaissances sur les rejets et les impacts environnementaux :** les pouvoirs publics et les acteurs de la recherche peuvent orienter les recherches à mener afin de combler d'éventuelles lacunes décelées à l'issue de telles évaluations, ou d'approfondir les connaissances sur les aspects se révélant les plus déterminants en termes d'impacts sur l'environnement.

2.1.2 - Démarche

La démarche HQE® a la vocation d'être une démarche volontaire du maître d'ouvrage désireux d'introduire les éléments de développement durable appliqués au bâtiment au sein de son projet. Les atouts d'une telle démarche résident dans la réalisation de bâtiments ayant moins d'impacts sur l'environnement (économies d'énergie, d'eau, matériaux pérennes, préservation des ressources, etc.), les occupants (confort visuel, acoustique, matériaux non nocifs, etc.) et les riverains (intégration du bâtiment dans son environnement, chantier à faible impact environnemental, etc.).

Les intérêts du maître d'ouvrage sont évidents en matière d'économies financières liées aux économies d'énergie, d'eau et de ressources, mais également en termes de reconnaissance et de visibilité.

La démarche HQE® comporte un volet de management environnemental de l'opération régi par l'ISO 14001 et un volet projet qui doit être conforme aux quatorze cibles de la démarche HQE® régies par la norme NF P 01-020.

2.1.3 - Certification NF bâtiments tertiaires Démarche HQE® Plateforme Logistique

La plateforme logistique a désormais sa certification NF Bâtiments Tertiaires – Démarche HQE®. En effet, fruit d'un groupe de travail animé par Certivéa, l'association HQE et AFILOG, le référentiel « Plateforme Logistique » applicable depuis mi-janvier 2009 permet aux bâtiments logistiques d'être eux aussi éligibles à la certification NF Bâtiments Tertiaires – Démarche HQE®. Une certification spécifique existe désormais également pour les messageries, elle est issue du référentiel « Plateforme Logistique » et adaptée aux spécificités de ces projets.

CERTIVEA est le certificateur actuel de ces démarches.

AFILOG est une association regroupant les acteurs liés au développement de la logistique en France et en Europe (industriels, distributeurs, prestataires logistiques, investisseurs, promoteurs, prescripteurs et maîtres d'œuvre, aménageurs, banques, assurances, etc.) et s'est donnée pour mission de répondre aux problématiques d'un métier en pleine mutation, dans un univers complexe à comprendre. Elle regroupe aujourd'hui quatre-vingt-deux membres engagés dans les différents travaux menés par l'association.





Le référentiel « Plateforme Logistique » présente les caractéristiques communes de la certification NF Bâtiments Tertiaires – Démarche HQE® et traite donc les quatorze cibles traditionnelles de cette démarche, mais comprend également deux volets propres aux entrepôts : les thèmes A et B.

Thème A : Conditions de travail

- Sanitaires et vestiaires, répartition H/F en capacité et surface suffisante.
- Prévision et livraison d'un ou plusieurs points de restauration pour tous les employés.
- Local accueil conducteurs équipé de sanitaires et coin pause avec machine à café (Niveau Base).
- Charte des ambiances et aménagements intérieurs.
- Passages de portes et joints de dalles soignés et conformes aux règles de l'art pour limiter les troubles musculo-squelettiques (TMS).

Thème B : Adaptation du bâtiment au process

- Conception de la trame du bâtiment de stockage en fonction de l'implantation des racks.
- Répartition des sanitaires de manière à limiter les déplacements du personnel.
- Butées tampons sur ressort.
- Espacement de 2 m minimum entre deux quais.
- **Zone résistante bétonnée pour le béquillage des remorques...**

Plusieurs dizaines d'opérations sont d'ores et déjà en cours de demande de certification NF Bâtiments Tertiaires – Démarche HQE® « Plateforme logistique ».

2.2 - Bâtiments

Le matériau béton est déjà largement utilisé dans les ouvrages logistiques pour ses qualités techniques et sa robustesse mais aussi de plus en plus pour ses qualités esthétiques. De plus, son usage n'est pas en contradiction avec une démarche environnementale (cf. *Guide pour l'utilisation d'éléments en béton architectonique dans les projets d'architecture*, Réf B62, CIMBETON, 2009).

En effet, matériau de construction composite, le béton est essentiellement fabriqué à partir de matières minérales (ciment, sable, granulats et eau). Durci, il possède deux qualités essentielles : sa pérennité qui permet un entretien moindre, donc un impact environnemental moins marqué et sa stabilité chimique conférant à ce matériau une compatibilité avec tous types d'usages. Inerte, il ne dégage aucun gaz à effet de serre ni composé toxique, y compris en cas d'incendie : il ne peut donc être à l'origine de pollutions, ni présenter de danger pour les usagers. Sur le plan énergétique, son mode de fabrication se traduit par une consommation limitée. Entièrement recyclable en fin de vie, le béton s'inscrit pleinement dans une démarche de développement durable (cf. *Qualité environnementale des bâtiments ISO 14040 -14044 et NF P 01-010*, Réf B56, CIMBETON, 2009).

2.2.1 - Sols

Dans un entrepôt logistique, le dallage est un élément extrêmement important car soumis le plus aux sollicitations (circulation d'engins, chocs, charges, etc.). Il contribue à la pérennité de l'activité d'une plateforme logistique. Ses principales exigences sont :

- la résistance mécanique (usure, choc, ripage) ;
- la sécurité (résistance à la glissance...);
- la planéité ;
- la facilité d'entretien.

Ouvrage particulier, le dallage est à la fois le plus mince des éléments de structure et celui qui est le plus en interaction avec un support naturel. Il supporte des charges dynamiques et statiques intenses. Pour le dimensionner, il est indispensable de connaître les éléments suivants :

- les charges statiques : ponctuelles (pieds de racks par exemple) ou uniformément réparties (stockage en vrac ou sous les racks) ;
- les charges roulantes en précisant : le type de trafic, la charge maximale par roue, la charge totale, la nature des bandages, etc.

Le béton est l'élément primordial du dallage.

En effet, le béton offre :

- Résistance mécanique :
 - circulation intense sur zone déterminée ;
 - absence de poinçonnement (charges ponctuelles élevées) ;
 - usure maîtrisée lors de trafics importants.
- Maintien des performances du matériau dans le temps – maintenance et entretien réduits.
- Optimisation de l'exploitation de l'activité :
 - planéité durable ;
 - confort acoustique ;
 - sécurité de circulation des engins de manutention ;
 - confort visuel et esthétique.

Rappel : le dallage est régi par la norme NF P 11-213 (DTU 13.3) « Conception, calcul et exécution ». Pour un dallage d'entrepôt logistique, c'est la partie 1 « Dallage à usage industriel et assimilés » qui sera intéressante.



2.2.2 - Structure porteuse

Les plateformes logistiques, du fait des produits emmagasinés et stockés présentent d'importants risques d'incendie.

Pour le maître d'ouvrage et/ou l'exploitant, il est essentiel de préserver, l'outil de travail et les marchandises en stock, afin de pouvoir reprendre le travail au plus

vite, sans compromettre la stabilité financière de la société. Pour cela, deux besoins essentiels dans la maîtrise des risques incendie :

- stopper ou retarder le plus longtemps possible la progression du feu à ses différentes phases d'évolution ;
- maintenir le feu dans ses limites et interdire sa propagation, grâce à un compartimentage coupe-feu et à une très bonne stabilité au feu des ossatures et façades.

Un entrepôt doit être conçu pour permettre l'évacuation des occupants et préserver la vie des pompiers en cas d'incendie. L'intervention de ces derniers à l'intérieur du bâtiment est grandement facilitée lorsqu'ils sont en présence de matériaux qui offrent une résistance au feu maximum, empêchant à la fois la transmission du feu et des gaz toxiques et les risques d'explosion.

Les constructions en béton sont favorisées car elles bénéficient d'un excellent comportement au feu. En effet, soumis à une température correspondant à celle d'un incendie, le béton n'atteint au bout d'une heure que 350 °C à 3 cm de profondeur et 100 °C à 7,5 cm ; et ces températures sont très en deçà de celles pour lesquelles les caractéristiques du matériau sont affectées de façon sensible (environ 600 °C).

La structure en béton est la plus utilisée pour les bâtiments logistiques (plus de 55 % des surfaces construites contre environ 10 % pour la structure mixte béton/lamellé-collé). Les portées qui peuvent atteindre 25 à 35 m, sont obtenues avec des poutres en béton précontraint.

Les charpentes béton laissent une grande liberté pour le choix de la couverture et des façades. Les avantages résident dans la rapidité de montage, l'absence d'entretien, la résistance au feu, à la corrosion et aux agressions chimiques ou phytosanitaires (en fonction des produits et matériaux stockés).



2.2.2.1 - Les poteaux béton

Les poteaux transmettent les charges verticales et horizontales aux fondations. Leur section est généralement carrée ou rectangulaire, d'autres sections telles que circulaires ou en forme de I sont également possibles.

2.2.2.2 - Les poteaux à feuillures

Les poteaux à feuillures permettent la mise en œuvre de panneaux en béton d'épaisseur variable. Ils assurent la stabilité du mur sous l'action des forces extérieures (vent, dilatation, etc.).

2.2.2.3 - Les poutres

Les poutres peuvent être de hauteur constante ou variable. Lorsqu'elles sont de hauteur constante, leur section est rectangulaire pour les petites portées et en forme de I pour les grandes portées.

Les poutres à hauteur variable

Ce sont des poutres en béton précontraint à double pente réalisées pour des portées comprises entre 10 m et 40 m. Elles assurent la transmission des efforts horizontaux sur les poteaux. Elles sont stables au feu d'une demi-heure à 2 heures. L'inertie transversale de ce type de poutre permet la suppression de la structure de contreventement.



Les poutres à hauteur constante

Ce sont des poutres en béton précontraint permettant de franchir des portées comprises entre 10 m et 34 m. La stabilité au feu est d'une heure à 4 heures.

Les poutres en T renversé dépassant en toiture

Ce sont des poutres en T dépassant en toiture d'une hauteur de 1 m. Elles permettent de franchir des portées importantes et sont stables au feu d'une heure à 4 heures. Ces poutres supportent les pannes de couverture; elles sont positionnées au-dessus des murs coupe-feu pour séparer deux cellules, de telle sorte que tout incendie se déclarant d'un côté ne puisse se propager de l'autre.

2.2.2.4 - Les pannes

Les pannes sont de hauteur constante, leur section transversale pouvant être rectangulaire, trapézoïde, en I ou en T.

Les pannes de rive

Ce sont des pannes calculées pour reprendre les efforts au vent transmis par les panneaux.

Les pannes en T

Les pannes en T ont une portée usuelle de 10 m à 18 m. Elles sont stables au feu d'une demi-heure à 2 heures. En partie supérieure sont ancrés les inserts nécessaires à la fixation dans les tolérances de la norme des rails pour bac de couverture.



2.2.2.5 - Les murs coupe-feu

Un mur est dit « coupe-feu » s'il est capable, pendant une certaine durée d'incendie (degré coupe-feu deux ou quatre heures) :

- de conserver une résistance mécanique suffisante pour rester en place, il est alors dit « stable au feu » ;
- d'être étanche aux flammes, gaz et fumées d'incendie, il est alors dit « pare flamme » (le caractère « stable au feu » est donc inclus dans le caractère « pare flamme ») ;
- d'enrayer la propagation de la chaleur. La température moyenne de sa face non soumise aux flammes ne doit pas excéder 140 °C (180 °C en température maximum).

Les atouts de la structure béton :

- Stabilité au feu
- Flexibilité
- Durabilité, sans entretien
- Extension
- Résistance aux agressions et aux chocs
- Facilité d'accrochage des différents process
- Délai de livraison rapide
- Temps de montage réduit
- Primes d'assurances favorables au béton



Une nouvelle classification existe désormais au niveau communautaire, et décrit les qualités suivantes des éléments d'un bâtiment, associées à un temps exprimé en minutes :

- R: capacité portante
- E: étanchéité au feu
- I: isolation thermique
- W: rayonnement
- M: action mécanique
- C: fermeture automatique
- S: passage des fumées
- G: résistance à la combustion de la suie
- K: capacité de protection contre l'incendie
- D: durée de stabilité à température constante
- DH: durée de stabilité sous la courbe standard température-temps
- F: fonctionnalité des ventilateurs extracteurs de fumées et de chaleur
- B: fonctionnalité des exutoires de fumées et de chaleur naturels

Exemple : un mur de compartimentage de cellules de degré coupe-feu 2 heures est dit REI 120.

Un mur coupe-feu est généralement en béton, il doit être indépendant de la structure porteuse et des racks et être autostable. De plus, afin d'être réellement efficace, il doit dépasser de la toiture et des façades. Du fait de ses performances, le béton est un matériau qui présente toutes les qualités pour réaliser des murs coupe-feu efficaces et répondant aux exigences des réglementations en vigueur applicables aux entrepôts logistiques.

Pendant un incendie, la ruine brutale d'un bâtiment peut provoquer des accidents lors de l'évacuation des personnels ou de l'intervention des sauveteurs. La présence de murs coupe-feu en béton et d'une structure en béton permet aux services de secours d'effectuer leurs opérations en toute sécurité sans craindre d'effondrement.

De plus, les murs coupe-feu en béton comme les structures en béton sont dans la majorité des cas facilement réparables après un incendie, ce qui favorise la remise en service du bâtiment et la reprise de l'activité dans les meilleurs délais. Au regard des assurances, l'emploi du béton peut favoriser l'obtention de réductions de primes d'assurance du fait de son caractère coupe-feu naturel. Ainsi par exemple, les murs coupe-feu en béton répondent sans aucune difficulté aux règles de l'APSAD en la matière.

2.2.3 - Façade

Les façades de bâtiments logistiques doivent remplir d'importantes fonctions :

- tenue mécanique ;
- écran protecteur aux agressions extérieures (vent, grêle, chocs, effractions) ;
- durabilité ;
- facilité d'entretien ;
- écran thermique – stabilité au feu.



Les réponses à ces attentes sont apportées par les panneaux béton.

Les panneaux béton de façade sont des plaques préfabriquées disposées soit horizontalement contre les poteaux de l'ossature et maintenus par fixations mécaniques, soit verticalement, supportés par des longrines et fixés en partie haute à la charpente.



Les façades en panneaux de béton sont la meilleure réponse en termes de résistance à l'effraction et aux chocs, de durabilité et d'entretien sans oublier **les fonctions d'écran thermique et protection au feu**. Grâce à leur système de fixation à la charpente, ils autorisent les démontages, avec possibilité de réemploi, et facilitent les extensions de bâtiments (cf. *Murs séparatifs coupe-feu et façade écran thermique en béton*, Réf B67, CIMbéton, 2007).

2.2.3.1 - Les panneaux architectoniques

Ce sont des panneaux dont la face extérieure assure l'aspect fini de la façade. Cet aspect est obtenu soit par moulage sur une peau coffrante structurée, soit par traitement du béton avant ou après durcissement de ce dernier.

Les épaisseurs doivent être adaptées en fonction du degré coupe-feu recherché.



2.2.3.2 - Les panneaux en béton cellulaire

Les façades en béton cellulaire sont constituées de panneaux armés de hauteur comprise entre 60 cm et 75 cm maximum disposés horizontalement ou verticalement. Leur longueur est généralement de 6 m et leur épaisseur de 15 à 30 cm.

Ces panneaux sont isolants thermiques. Leur faible densité a les avantages du béton allégé et assure un excellent degré coupe-feu (de 3 heures à 6 heures). Leur armature intégrée leur permet de reprendre une charge au vent de 80 à 250 kg/m². En pose horizontale, le mur peut être monté à 24 m de hauteur avec une épaisseur de 15 à 20 cm et à 28 m avec une épaisseur de 25 cm.

Ces panneaux se posent en applique sur les poteaux béton et coupent ainsi les flux thermiques dégagés par un incendie.

2.2.3.1 - Les panneaux à isolation (type sandwich)

Ces panneaux renferment un isolant thermique discontinu ou continu. L'isolant joue un rôle d'allègement pour le panneau utilisé comme mur coupe-feu. Les voiles sont solidarités par des nervures ou des plots en béton armé, les nervures en béton peuvent également être remplacées par des épingle de liaisons métalliques ou en matériau composite. Ces solutions sont intéressantes car elles réduisent de manière importante les ponts thermiques régnant au droit des nervures.

Les atouts de ces panneaux sont nombreux et leur intérêt est accru par les multiples réponses qu'ils apportent, et plus particulièrement pour ceux à isolation continue :

- isolation thermique (répond à la réglementation thermique, en fonction de l'épaisseur choisie ; évite une isolation complémentaire) ;
- inertie thermique ;
- solidité ;
- pérennité ;
- facilité de mise en œuvre.



2.2.4 - Couverture

Dans les entrepôts logistiques les toitures ne se font généralement pas en béton, une couverture avec un matériau plus léger lui est préférée.

Une couverture béton amène certes un surcroît de poids pour la structure mais possède néanmoins des avantages en matière de protection thermique et acoustique. Des mesures constructives permettent de générer en toiture un effet de plaque capable de reprendre les charges horizontales. De plus, pour des ouvrages visant une reconversion, cette solution peut s'avérer être une bonne alternative.

Il ne faut pas non plus oublier que dans le cadre d'une démarche environnementale, l'intégration d'une **toiture végétalisée** sur les parties « bureaux » d'un entrepôt ne peut se faire aisément qu'avec une couverture en béton.

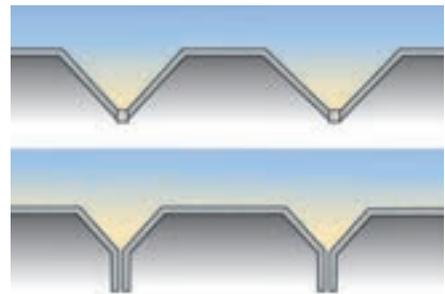
Les couvertures en béton peuvent être réalisées à partir de composants autoporteurs en béton armé ou précontraint dont les performances mécaniques permettent de s'affranchir du réseau de pannes. Combinés avec des surfaces transparentes, ces éléments permettent l'éclairage naturel des entrepôts. Leur assemblage sur les poutres s'effectue par brochage ou clavetage.

Les principales caractéristiques des couvertures à composants en béton sont :

- une bonne durabilité en milieu agressif;
- une isolation thermique pouvant être incorporée dans les éléments à la fabrication ou rapportée sur chantier;
- une isolation acoustique fonction de la masse.

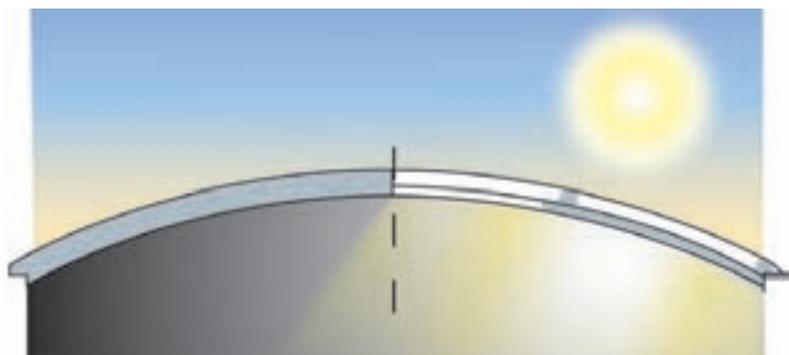
2.2.4.1 - Les coques

Ce sont des poutres minces profilées en V ou en Y précontraintes.



2.2.4.2 - Les coupoles

Les coupoles permettent une jonction harmonieuse entre les coques. En y faisant des ouvertures, il est possible d'obtenir facilement une surface éclairée de 20 % en employant des plaques translucides.

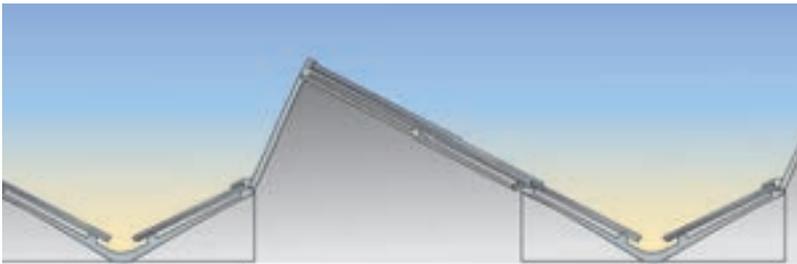


Les atouts de la couverture béton :

- Flexibilité (300 m² et plus sans poteau)
- Extension facilitée
- Esthétisme
- Inertie thermique
- Isolation thermique et acoustique
- Rapidité de mise en œuvre
- Stabilité au feu (1 à 2 heures)
- Coûts d'entretien réduits

2.2.4.3 - Les sheds

Les sheds couvrent l'espace entre deux coques réalisant une ouverture en fenêtre haute.



À noter que les coupoles et sheds nécessitent une étude spécifique en cas d'installation d'un réseau d'extinction automatique à eau.

2.2.5 - Valorisation environnementale du béton

De plus en plus de filières de recyclage du béton existent. La première option de recyclage est celle de l'utilisation des granulats issus de concassage d'ouvrages en béton, en soubassement des routes, mais il est désormais aussi possible de récupérer et séparer ces granulats pour refabriquer du béton.

2.3 - Aménagements extérieurs

Dans les zones logistiques, le béton est employé pour de nombreux usages : infrastructures routières, voiries et circulations, stationnements ou autres aménagements extérieurs. Ce matériau s'adapte à tous les cas de figure, qu'il s'agisse de zones logistiques en milieu urbain, rural ou encore en zone portuaire avec par exemple l'intégration aisée de rails pour le déchargement des conteneurs.

Le béton est de plus en plus utilisé car il permet de concevoir des ouvrages de qualité tout en limitant leur entretien et maintenance (sauvegarde de ressources, économies d'énergie, pas de perturbations occasionnées grâce aux interventions évitées). Sa polyvalence (formes, textures, couleurs) contribue à un besoin d'esthétisme et d'intégration de plus en plus important. À cela, s'ajoute un coût attractif faisant du béton un matériau quasi incontournable.

2.3.1 - Le traitement des sols

Aujourd'hui, la technique du traitement aux liants hydrauliques s'étend à un nombre élevé de sols : limons, argiles, marnes, matériaux sableux, sableux-graveleux et graveleux, craies, calcaires tendres, etc. C'est une technique alternative propre, économe en apport de granulats et en énergie, permettant de valoriser les matériaux présents *in situ*, qui auraient été mis en décharge par une technique traditionnelle et qui présente les atouts nécessaires sur le plan technique, économique et environnemental.

Le traitement des sols avec un liant est une technique qui consiste à incorporer, au sein du sol, cet élément d'apport avec éventuellement de l'eau et de les mélanger plus ou moins intimement *in situ* jusqu'à l'obtention d'un matériau homogène, pour lui conférer des propriétés nouvelles. Ce type de traitement utilise les affinités chimiques du sol et du liant, par opposition au traitement mécanique.

Le traitement des sols pour l'exécution des remblais et des couches de forme a pour objet de rendre utilisable un sol qui ne présente pas naturellement les caractéristiques requises pour supporter une assise de chaussée, de parking ou de plate-forme.



2.3.1.1 - Atouts techniques

Le traitement des sols en place à la chaux et/ou au liant hydraulique permet la réalisation en remblais et en couches de forme, d'une couche traitée homogène, durable et stable, présentant des caractéristiques mécaniques comparables à celles d'une grave-ciment ou grave hydraulique. En outre, cette technique assure une bonne répartition des charges sur le support, grâce à la rigidité de la nouvelle structure.

Cette technique assure un bon comportement par temps chaud sans déformation, ni orniérage et un bon comportement vis-à-vis des cycles de gel-dégel, grâce à la rigidité du matériau et à l'effet de dalle induit. Enfin, le traitement des sols en place est une technique possédant une facilité d'adaptation aux contraintes d'exploitation.

2.3.1.2 - Atouts économiques

Le traitement des sols en place à la chaux et/ou au liant hydraulique est une technique de traitement à froid, donc utilisant peu d'énergie. La réutilisation des matériaux en place est un facteur d'économie important puisqu'il réduit au minimum les déblais issus du décaissement, la mise en décharge, l'apport de granulats et le coût de leur transport.

Enfin, le traitement des sols en place est une technique très économique, notamment du fait de la durée plus courte des travaux par rapport à une solution avec décaissement.

2.3.2 - Les routes et voies en béton

Le trafic constitue un élément essentiel du dimensionnement des chaussées. En effet, chaque passage de véhicule entraîne une légère fatigue de celle-ci, tant pour ce qui concerne la structure que les qualités de surface. L'accumulation de ces dommages élémentaires conduit à la dégradation progressive de l'ensemble. L'influence du poids des essieux des véhicules est avérée sur les dommages observés.

Dans les zones logistiques, l'agressivité spécifique du trafic de poids lourds (trafic intense, charges importantes, etc.) conduit à rechercher des revêtements présentant une résistance élevée à l'orniérage. Il est donc nécessaire de concevoir des infrastructures routières durables et résistantes aux agressions. Le béton s'avère être un matériau parfaitement adapté.

Les qualités principales d'un revêtement en béton sont sa tenue à la fatigue, qui garantit sa durabilité et sa grande rigidité, qui permet d'assurer une bonne répartition des charges sur le sol support. À cela s'ajoutent d'autres atouts (économiques, écologiques, etc.).

2.3.2.1 - Atouts techniques

Les principales qualités techniques des voiries en béton sont :

• Une grande rigidité

Les voiries en béton assurent une bonne répartition des charges sur le support de la chaussée et permettent une excellente adaptation aux sols de faible portance.

D'où : – une absence de fondation complexe ;

– une réduction des épaisseurs de la structure, donc des terrassements ;

– une économie en matériaux (structure moins épaisse, à performances mécaniques égales).

– une simplicité de mise en œuvre (structure monocouche et matériel de mise en œuvre facilement disponible et d'utilisation simple).

• Une bonne tenue à la fatigue

Un revêtement en béton, bien conçu et bien dimensionné, peut résister très longtemps à la répétition des charges, donc à un trafic intense. Permettant ainsi :

– une grande durabilité (40 à 60 ans) ;

– un entretien quasi nul sur la période de service.



• Une solidité à toute épreuve

La voirie en béton offre un ensemble de qualités de résistance :

- aux charges et au poinçonnement (grâce aux caractéristiques mécaniques du béton) ;
- à la chaleur (elle demeure rigide et stable par temps chaud sans déformation ni orniérage) ;
- au froid (elle est insensible au gel et aux sels grâce à la présence dans le béton de microbulles d'air) ;
- aux hydrocarbures ;
- à l'érosion et aux inondations (absence d'érodabilité des bords du revêtement).
- à l'usure de surface (sous l'effet du trafic et des conditions climatiques) ;
- au dégel : par sa rigidité, le revêtement répartit les charges

Conséquences

- Un entretien quasi nul : la durabilité de la structure et des caractéristiques de surface est assurée quelles que soient l'intensité du trafic et des conditions climatiques.
- Une sécurité accrue (due au maintien, pendant de très longues périodes, de l'uni et des caractéristiques de surface : absence de déformation et d'orniérage, donc pas de rétention d'eau sur la chaussée et, par conséquent, moins de risque d'aquaplaning).



2.3.2.2 - Atouts économiques

Le béton est un matériau constitué d'éléments disponibles localement (sable, granulats, ciment, eau) et, contrairement au bitume, s'accommode bien des différents

types de granulats et de sables. Il est disponible partout : plus de 1 700 centrales de béton prêt à l'emploi (BPE) quadrillent la France (aucun chantier n'est donc à plus de 30 km d'une centrale BPE).

• Une technique à l'échelle locale

La réalisation de voiries en béton peut être du ressort des entreprises locales, formées à la mise en œuvre des bétons d'environnement et de voirie. Le procédé utilise des granulats de la région, disponibles sur place ou à faible distance, qu'ils soient d'origines alluvionnaires ou de roches massives, roulées ou concassées.

• Une technique compétitive

La solution béton est tout naturellement compétitive par rapport à d'autres matériaux. Il faut en plus tenir compte, au moment de l'évaluation des coûts de construction, de certains éléments financiers qui jouent en faveur des structures en béton et qui peuvent se cumuler :

- minoration des terrassements : l'épaisseur de la chaussée est plus faible dans le cas des structures en béton ;
- économie d'énergie : il est consommé moins d'énergie pour 1 m² de route en béton que pour 1 m² de route en bitume.



• Un bilan économique très favorable

Le bilan économique à long terme est très favorable du fait de la longévité de la chaussée béton et de son entretien réduit.

2.3.2.3 - Atouts environnementaux

Contrairement au bitume, le béton est un matériau obtenu à froid. De ce fait, il ne dégage pas lors de sa mise en œuvre d'émanations polluantes dans l'atmosphère. Il participe à la gestion de la ressource « granulats » car en requiert moins pour sa fabrication.

Le béton constitue en se prêtant au recyclage, un gisement potentiel de matériaux pour de nouvelles routes et apporte donc sa contribution en matière de préservation de l'environnement.

2.3.3 - L'emploi du béton pour les carrefours giratoires

Dans les zones logistiques les carrefours giratoires sont indispensables car ils permettent de fluidifier et de sécuriser le trafic (cohabitation de poids lourds et de véhicules légers). Ces ouvrages sont donc fortement sollicités: les voies d'accès au carrefour giratoire ainsi que la chaussée annulaire sont soumises à des contraintes spécifiques.



En effet, les voies d'accès sont des zones de freinage et d'accélération, ce qui provoque des transferts de charge entre essieux et des contraintes d'adhérence très élevées. De plus, dans les carrefours giratoires, les vitesses pratiquées sont faibles (30 à 40 km/h), d'où un temps d'application de la charge plus long qu'en section routière rectiligne. D'autre part, la circulation est extrêmement canalisée du fait de la géométrie de l'ouvrage. Ceci se traduit par une majoration des contraintes dans la structure de la chaussée et un risque élevé d'orniérage.

Les atouts du béton permettent de concevoir des carrefours giratoires respectant toutes les contraintes spécifiques à ce type d'ouvrages mais également d'apporter d'autres réponses.

2.3.3.1 - Atouts structurels

- **Durée de vie élevée et insensibilité aux variations de températures**

Le béton est apte à supporter des conditions extérieures extrêmes : il résiste au gel et supporte les fortes chaleurs estivales. Par conséquent, il est bien adapté aux fortes contraintes d'un giratoire. De plus, sa longue durée de vie diminue la gêne à l'utilisateur en espaçant dans le temps les travaux d'entretien.

• **Suppression du risque d'orniérage**

Le béton ne s'ornièrera pas. Sa forte rigidité permet de mobiliser des efforts notables de traction par flexion. La répartition des efforts au niveau des couches de fondation conduit à une faible sollicitation de ces dernières et donc à l'élimination de tout risque de déformation.

• **Élimination des phénomènes de décollement de la couche de roulement causés par les effets de la force centrifuge**

Ces effets sont particulièrement sensibles dans les giratoires fortement sollicités où peuvent apparaître des « plissements » de la couche de surface dans le cas de structures souples multicouches. Dans le cas de revêtement béton, la dalle est à la fois couche de base et couche de roulement ; sa résistance au cisaillement permet d'éliminer complètement ce risque.

• **Insensibilité du revêtement aux pertes d'hydrocarbures**

Contrairement aux matériaux traités aux liants hydrocarbonés, le béton ne subit aucune dégradation suite à l'attaque des hydrocarbures. Cette propriété déjà exploitée dans les stations services, est également très utile dans les giratoires où la force centrifuge ajoutée à l'inclinaison du véhicule occasionne de fréquents débordements de carburant par le trop plein des réservoirs des poids lourds.

• **Possibilité de réaliser un assainissement intégré**

Seul le béton permet de réaliser simplement et économiquement une structure avec caniveau ou bordure intégré. Le monolithisme de la structure ainsi obtenue évite toute dégradation ou déchaussement de bordures.

• **Adhérence de surface pérenne**

L'adhérence est maintenue dans le temps et par tous les temps grâce aux performances mécaniques des granulats et des différentes techniques de traitement de surface du béton.

2.3.3.2 - Atouts en matière de réalisation

Mise en œuvre simple et rapide du béton

Grâce à sa plasticité, le béton s'adapte bien aux conditions spécifiques de réalisation d'un giratoire. Il permet en particulier de réaliser sans difficulté tous les raccordements et l'aménagement autour des regards et des points singuliers. Les techniques de mise en œuvre permettent une réalisation rapide. De plus, la possibilité de réaliser simultanément le revêtement et les ouvrages d'assainissement en béton (bordure ou caniveau) permet un gain de temps et une très bonne qualité d'ouvrage.

2.3.3.3 - Atouts pour la sécurité

Le béton confère aux giratoires de nombreux avantages en termes de sécurité pour trois raisons principales.

- **Une meilleure visibilité**

Les chaussées en béton présentent les avantages d'une surface de couleur claire, possédant des caractéristiques adéquates en matière de luminosité, de jour comme de nuit. Le jour, la clarté de la couche de roulement en béton permet de créer une alerte visuelle en particulier en rompant la monotonie des structures classiques grâce à une différenciation de couleur, très appréciable des conducteurs de poids lourds soumis à de très longues heures de route. La nuit, le giratoire peut être vu à une très grande distance.

- **Un uni maintenu**

La pérennité des performances mécaniques du béton, ainsi que son inertie face aux aléas climatiques et aux variations de températures, permettent d'offrir aux usagers une surface de roulement présentant un uni constant au fil des saisons et du temps. Ce maintien de l'uni est d'autant plus appréciable dans les giratoires qui sont soumis à un trafic agressif et fortement canalisé. La réalisation des joints par sciage selon un calepinage adapté aux contraintes géométriques du giratoire, ne crée aucune interférence sur l'uni de la couche de roulement.

- **Une adhérence adaptée**

Le traitement de surface de la chaussée béton lui confère des qualités pérennes d'adhérence et de résistance au dérapage. Les différentes techniques de traitement de la surface du béton permettent d'obtenir une très grande variété de texture.

2.3.4 - Le Béton de Ciment Mince Collé (BCMC)

Le Béton de Ciment Mince Collé (BCMC) est une technique d'entretien superficiel des structures bitumineuses. Il permet de lutter durablement contre l'orniérage des voies à structure bitumineuse.

La technique du Béton de Ciment Mince Collé consiste à fraiser ou à raboter la structure bitumineuse dégradée sur une épaisseur adéquate et à mettre en œuvre, après nettoyage de la surface, une couche mince de béton de ciment qui adhère parfaitement à la couche bitumineuse résiduelle sous-jacente. La structure composite monolithique ainsi obtenue offre des garanties de durabilité et cela pour deux raisons :

- le béton, grâce sa rigidité, répartit les charges et soulage ainsi la structure bitumineuse sous-jacente ;
- le béton assure une protection thermique de la structure.

Cette technique a été pensée au départ pour l'entretien des chaussées bitumeuses épaisses, mais elle a été très vite étendue aux travaux neufs dans des applications particulières nécessitant un revêtement de surface non orniérant.

2.3.4.1 - Les domaines d'emploi

La technique vise principalement :

- les voies canalisées telles les voies de bus en zones urbaines ;
- les carrefours giratoires ;
- les aires industrielles du type zones logistiques ;
- les pistes cyclables ;
- les aires de parking poids lourds, etc.

2.3.4.2 - Les atouts du BCMC

Le BCMC présente les avantages suivants :

- un bon comportement sous trafic : absence d'orniérage et de fluage ;
- une grande durabilité ;
- un coût compétitif ;
- un revêtement esthétique : clair ou coloré ;
- une disponibilité du matériau béton à travers un réseau dense de centrales BPE ;
- une insensibilité aux hydrocarbures.

2.3.5 - Voiries à faible trafic et cheminements piétons

Un revêtement en béton permet un choix varié de couleurs et d'aspects créant une rupture entre les différents types de voiries. Ceci favorise une différenciation des flux du site (zones poids lourds, véhicules légers, piétons, etc.) participant ainsi à la sécurité.



De plus, la diversité de l'offre béton rentre dans le cadre d'une intégration dans l'environnement et apporte de l'esthétisme aux zones logistiques. Les atouts esthétiques du béton sont essentiellement dus aux possibilités offertes au niveau des formes, des couleurs et des textures.

2.3.5.1 - Les formes

Étant un matériau moulable, le béton peut adopter toutes les formes possibles. Dès lors, les surfaces bétonnées peuvent être conçues en trois dimensions (retraits, saillies, creux, reliefs, arrondis, etc.).



2.3.5.2 - Les couleurs

Gris ou blanc, le ciment, mélangé aux éléments les plus fins du sable donne au béton brut sa teinte de fond qui peut être modifiée par l'ajout de colorants. Dans le cas des bétons désactivés, c'est la couleur des granulats qui influencera la teinte du béton.



2.3.5.3 - Les textures

Elles vont des surfaces lisses aux surfaces rugueuses (lavées, sablées, désactivées, grenillées, bouchardées, imprimées, etc.). Suivant la nature du traitement choisi, le relief obtenu à la surface du béton sera plus ou moins accentué et l'esthétique de surface dépendra directement de la qualité de la texture minérale du béton.



Le matériau béton permet d'obtenir des formes, des couleurs et des textures extrêmement variées dans des conditions économiques très compétitives. Leur combinaison, associée à la possibilité de réaliser de grandes surfaces et des formes complexes, permet de répondre à toutes les exigences d'intégration au sein d'une zone logistique sans oublier le confort visuel procuré aux occupants et à l'éventuel voisinage.



2.3.6 - Stationnements - voiries perméables

Nous l'avons vu, les zones logistiques contribuent à l'imperméabilisation des sols. Dans le cadre d'une démarche environnementale, il est donc nécessaire de réduire cet impact. Pour permettre l'infiltration de l'eau dans le sol, il faut en assurer la perméabilité. Ainsi, pour les places de parking, cheminements piétons et autres espaces ne subissant pas le trafic intense des poids lourds, les surfaces perméables doivent être favorisées.

Parmi les revêtements de sol pouvant permettre l'infiltration partielle des eaux de ruissellement, on peut citer entre autres les dalles gazon, les dalles ou pavés en béton avec joints perméables ou encore les bétons drainants.

2.3.6.1 - Les dalles « gazon »

Les dalles gazon sont des dalles pourvues d'ouvertures à travers lesquelles la végétation peut pousser. Ce procédé convient particulièrement bien pour les zones de stationnement et permet une bonne cohabitation entre espaces végétalisés et automobiles. Selon les modèles, il est possible d'obtenir des surfaces dont la part d'engazonnement peut atteindre 66 %.



De plus, les dalles gazon béton ne répondent pas uniquement à un besoin de surfaces « vertes », elles remplissent également d'autres fonctions :

- consolidation de surfaces ;
- influence favorable sur le microclimat.



2.3.6.2 - Les pavés et dalles en béton, perméables à l'eau

Les pavages drainants sont appliqués en tant que système d'infiltration et de stockage sur les parkings, les routes à trafic limité, etc. Il en existe deux grands types :

- les produits de pavage à joints élargis ;
- les produits de pavage poreux.

Les pavés en béton à joints élargis sont particulièrement adaptés aux terrains industriels et aux parkings contrairement aux pavés en béton poreux peu résistants aux sollicitations mécaniques.

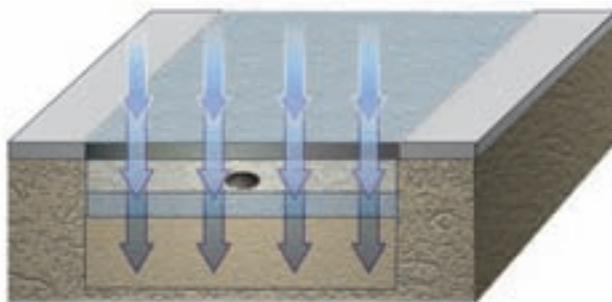
Le principe de fonctionnement est le suivant :

- les précipitations s'infiltrent via les joints ;
- les eaux de pluie sont de préférence stockées provisoirement dans la sous-fondation, la fondation servant de sécurité supplémentaire ; cette dernière assure la portance requise en fonction du trafic ;
- les eaux de pluie s'infiltrent dans le sol, selon la perméabilité de celui-ci ;
- les eaux de pluie qui ne s'infiltrent pas dans le sol sont évacuées de manière différée.

L'installation des dalles alvéolaires et la pose des pavés se réalisent facilement et ne demandent aucune technique particulière.

2.3.6.3 - Le béton drainant

Le béton drainant est un béton utilisé en dallage ou en revêtement de chaussée. Il est suffisamment poreux pour absorber l'eau de pluie et prévenir la formation de flaques. Grâce à ses propriétés, il est le matériau idéal pour la mise en place de chaussée réservoir. En effet, lorsque l'infiltration directe n'est pas possible, la rétention d'eau, c'est-à-dire l'amortissement de l'écoulement, peut éventuellement être envisagée afin de permettre une infiltration différée.



Les chaussées à structure réservoir ont pour but d'écarter les débits de pointe de ruissellement en stockant temporairement la pluie dans le corps de la structure. Les eaux stockées sont ensuite évacuées soit par infiltration directe dans le sol support, soit par restitution vers un exutoire (par exemple le réseau d'assainissement ou le milieu naturel). Le corps de la structure peut être composé de graves poreuses sans fine ou bien de matériaux adaptés (nid-d'abeilles, casiers réticulés, pneus, etc.).

2.3.7 - Innovation – Béton dépolluant

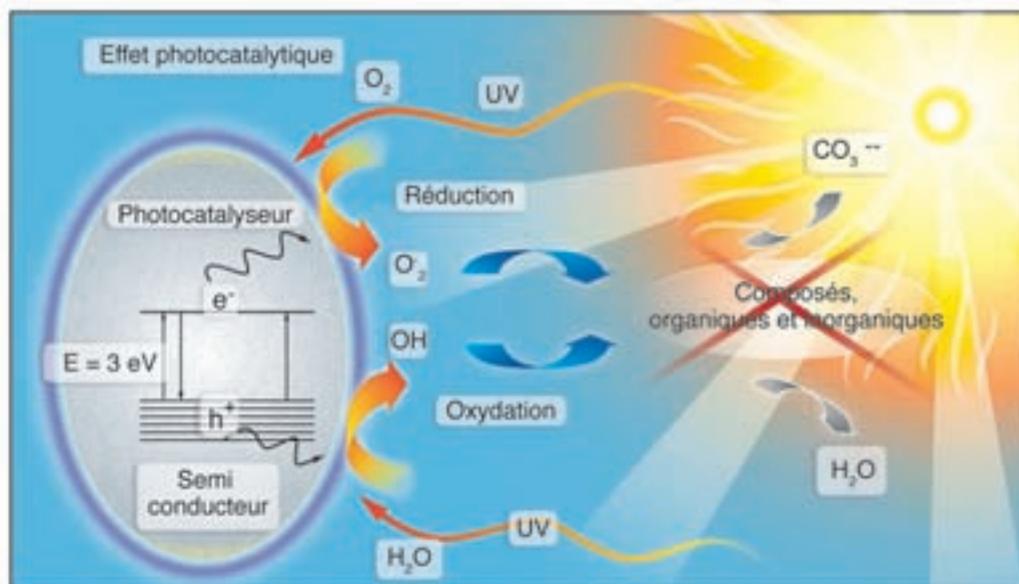
Les innovations en matière de matériaux sont nombreuses et s'orientent de plus en plus vers les préoccupations de qualité environnementale. En ce qui concerne le béton, on peut citer l'action antipollution.

Dans une zone logistique, la principale pollution provient du trafic de véhicules, des poids lourds essentiellement. Si en plus cette zone se retrouve dans un tissu industriel dense, viennent s'ajouter d'autres émissions liées à ces activités entraînant une pollution de l'air et par la même occasion un inconfort des usagers du site.

Les principaux polluants sont le dioxyde de soufre (SO_2), les oxydes d'azote (NO_x), le monoxyde de carbone (CO), l'ozone, le benzène, les hydrocarbures, les poussières et le plomb. Afin d'améliorer la qualité de l'air extérieur des zones logistiques mais également celle des entrepôts, l'utilisation de « béton dépolluant » peut être envisagée.

Celui-ci est élaboré à partir d'un ciment à effet photocatalytique dont le catalyseur est une variété de dioxyde de titane. Ce catalyseur permet d'obtenir, sous l'action des rayonnements ultraviolets (UV), la dégradation des polluants de l'air, principalement les gaz d'oxydes d'azote (NO_x) et les composés organiques volatils (COV). Ces derniers sont piégés par action directe à la surface du béton : les réactions d'oxydoréduction, issues de l'absorption du rayonnement UV par le ciment "photo-actif", transforment alors les oxydes d'azote en produits acides qui sont en partie neutralisés par le carbonate de calcium alcalin contenu dans le béton et en partie éliminés par l'eau de pluie.

L'application la plus efficace est l'utilisation de ce béton pour la réalisation de chaussées. En effet, le mouvement de l'air amène constamment des oxydes d'azote et d'autres composés volatils ou semi-volatils à sa surface. Et comme les molécules adhèrent suffisamment longtemps, elles sont susceptibles d'être décomposées par le processus d'oxydation. Il est donc tout à fait envisageable



pour un maître d'ouvrage de se poser la question de l'emploi d'un béton dépolluant pour la réalisation de ses routes, carrefours giratoires ou encore aires de bécquillage par exemple, apportant une valeur ajoutée à son ouvrage et permettant d'assainir l'air environnant (extérieur mais également intérieur).

Exemple de réalisation : Voirie dépolluante, Vanves (92)

• Présentation du projet

Dans le cadre de la lutte contre la pollution de l'air en milieu urbain, le conseil général des Hauts-de-Seine a réalisé en 2007 un chantier expérimental de route en béton de ciment. L'objectif prioritaire de cette démarche était de parvenir à réduire les pics de pollution en ville, en limitant l'impact des transports polluants. La chaussée, les bordures et trottoirs de la rue Jean Bleuzen à Vanves, représentent une surface de 6000 m² de béton dépolluant.

Cette rue a été choisie comme site expérimental en raison de son inscription à un programme de restructuration de voirie et parce qu'elle enregistre le passage quotidien d'environ 13 000 véhicules. De plus, il s'agit d'une voie départementale (RD 130) suffisamment ensoleillée, se trouvant à proximité du boulevard périphérique, encaissée et avec des immeubles des deux côtés faisant barrage aux vents transversaux.

La rue Jean Bleuzen a été partagée en deux sections de 300 mètres chacune, traitées différemment :

- une section témoin avec un béton de ciment traditionnel CEM I 52,5 N CE ;
- une section expérimentale avec une voie en BCMC et des trottoirs en pavés béton autobloquants, l'ensemble formulé avec un ciment à effet photocatalytique.



• Les résultats

La période d'instrumentation des deux sections a duré un an avec les mesures de la qualité de l'air et des eaux de ruissellement. Les conclusions pour le béton dépolluant sont les suivantes.

- Réduction des pics de pollution en ville.

Limitation de la pollution liée au transport routier responsable des émissions en gaz polluants NOx, d'environ 20 % minimum en présence de conditions atmosphériques défavorables.

- Esthétisme et réduction des niveaux sonores

Chaussée esthétique et peu bruyante, avec une composition de béton adaptée et un aspect de finition en béton légèrement désactivé.

Compte tenu de l'impact important au niveau de la qualité de l'air que peut avoir le trafic intense de poids lourds dans les zones logistiques, le béton dépolluant semble donc tout indiqué.



Chapitre

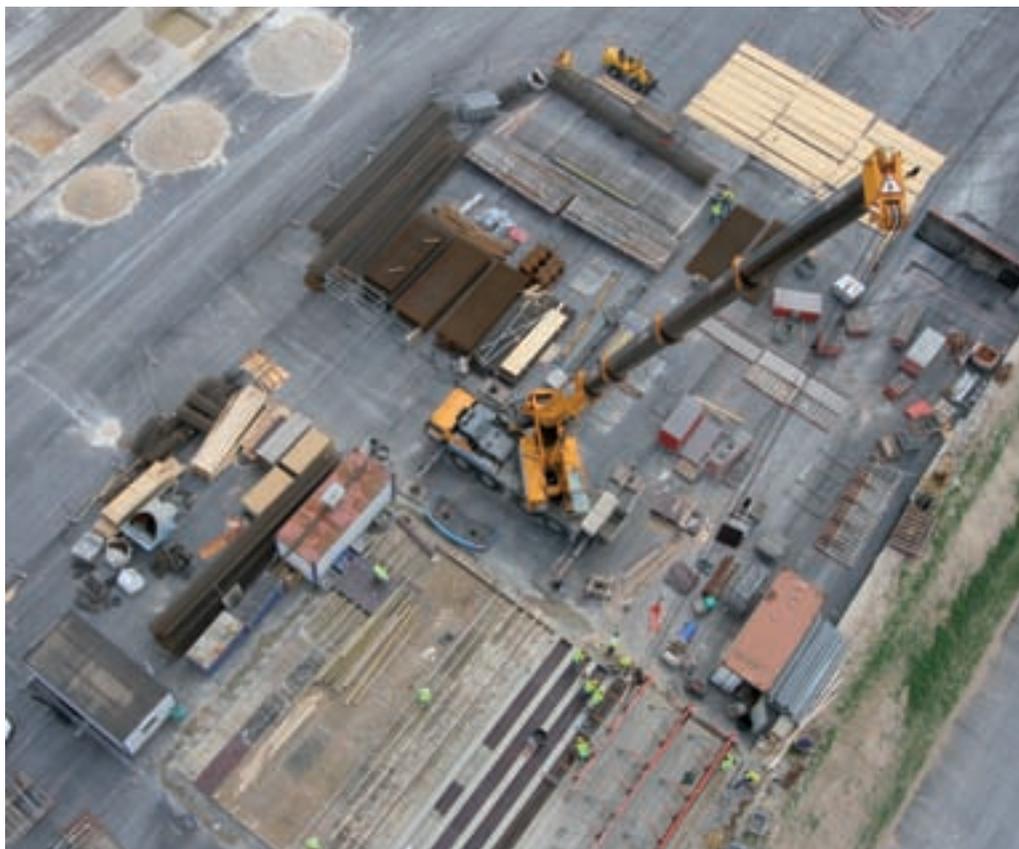
3

Exemples de réalisations

3.1 - Plateforme logistique 74 000 m² – Amiens

Ce projet comprenant deux plateformes logistiques de 74 000 m² au total – la plus grande implantation pour le trio Gazeley-GSE-SAGL, a reçu le label ECOLOGIS-TICS®. Il a été réalisé en six mois. Il a gagné le prix de la performance énergétique – développement durable en 2007, décerné par ASLOG.

Une station de préfabrication des éléments en béton du projet a été mise en place sur le chantier, pour limiter les déplacements et gagner en efficacité de mise en œuvre.



Zone de préfabrication



Si des poutres en lamellé-collé ont été mises en place, les poteaux de charpente et les planchers des mezzanines ont été réalisés en béton pour des raisons de stabilité au feu et de charges d'exploitation. Les murs coupe-feu entre cellules, les séparatifs entrepôts-bureaux et les écrans thermiques ont été réalisés en panneaux béton et béton cellulaire pour leur tenue au feu.



Mezzanine



Par ailleurs, le maître d'ouvrage a tenu à ce que les encadrements de portes à quais soient réalisés en voiles béton, pour une raison de solidité face aux impacts des poids lourds.

3.2 - Plateforme logistique 20 000 m² – Dagneux

Conçu par l'architecte Gérard Albert et réalisé par SAGL, ce bâtiment de 20 000 m² de logistique et 3 000 m² de siège social est dédié à Smoby Majorette et comprend une extension possible de même surface. Le confort des bureaux a été recherché par la réalisation de toitures végétalisées et terrasses accessibles avec dalles béton.



Toiture-terrasse végétalisée (partie bureaux).



Toiture-terrasse béton + dalles béton

Les planchers du plot bureaux ont été réalisés entièrement en dalles béton alvéolées, pour augmenter l'inertie du bâtiment et participer au confort thermique.

La terrasse accessible n'aurait pas pu être réalisée sur un plancher bacs acier.



Ces panneaux préfabriqués de grande dimension permettent de réaliser des façades sobres et élégantes, et leur montage est très rapide.

Les panneaux de béton cellulaire ont une teinte finie blanche qui amène de la clarté dans l'entrepôt.

Murs coupe-feu panneaux béton cellulaire et dallage béton.



3.3 - Plateforme logistique Panhard Développement – Brie-Comte-Robert

Ce chantier est celui du 3^e bâtiment d'une zone conçue par SAGL totalisant 120 000 m² de stockage. Pour des raisons esthétiques et de solidité, les soubassements de quai et encadrement d'autodocks sont en panneaux béton bruts. Ils forment une ligne horizontale élégante.





La structure de l'entrepôt est réalisée entièrement en béton, charpente et murs de recouvrement coupe-feu.

Ces panneaux de 12 m de long se posent rapidement et offrent également une modularité du bâtiment puisqu'ils sont facilement découpables pour la création de baies notamment.



3.4 - Plateforme logistique et bureaux/laboratoires Panhard Développement pour Sisley

Ce projet, adapté aux besoins de Sisley, est un peu atypique dans sa configuration puisqu'il comprend une zone de logistique et distribution de 36 800 m² et une zone de bureaux et laboratoires de 9 000 m². Par ailleurs, la zone d'entrepôt sera chauffée et rafraîchie.

La certification NF HQE Bâtiments tertiaires Phase Conception a déjà été obtenue pour les bureaux et l'entrepôt, avec l'AMO et BET HQE Alto.



Ici, les poteaux de structure et les panneaux de recouplement sont en béton, comme sur tous les projets nécessitant une grande tenue au feu, notamment les projets d'entrepôt classés 1510.

Les panneaux béton de 12 m de large sont des ouvrages préfabriqués, sont posés rapidement et ont également une grande résistance aux chocs, et participent à la pérennité de l'ouvrage ; c'est pourquoi ils sont posés de manière presque systématique.



Toute la façade des bureaux a été réalisée avec des panneaux préfabriqués et une isolation par l'extérieur. Ce procédé a permis d'obtenir une grande inertie et d'améliorer les performances thermiques du bâtiment.

Par ailleurs, l'avantage de cette façade béton, mis en avant dans le cadre de la certification, est le fait qu'elle est recyclable. Il est désormais courant, lorsqu'un projet est démolé, que le béton soit recyclé notamment en matériau de traitement du terrain, avant la construction future.





Ici, pour l'escalier intérieur monumental des bureaux, la plasticité du béton est un réel atout pour exécuter la forme libre du dessin. Cet escalier a été réalisé en éléments préfabriqués assemblés sur place.

Cette souplesse du matériau représente pour l'architecte un gage de liberté indéniable, qui permet de passer en souplesse du dessin à la réalisation.



Chapitre

4

Annexes

4.1 - Analyse de cycle de vie : bilan environnemental comparé – bâtiment de stockage de 12 000 m²

Le groupement formé par les trois entités :

- ACOB (Association française des fabricants de Charpentes à Ossatures Béton)
 - CIMBETON (Centre d'information sur le ciment et ses applications)
 - CERIB (Centre d'Études et de Recherches de l'Industrie du Béton)
- a souhaité mettre à disposition des données quantifiées, robustes et fiables sur l'impact environnemental de deux systèmes constructifs : celui de la structure en béton précontraint et celui de la structure mixte (poteaux en béton, poutres et pannes en bois lamellé-collé).

Cette étude a été rédigée en conformité avec les exigences de transparences des normes internationales :

- ISO 14040 « Management environnemental, Analyse du cycle de vie, Principes et cadres » ;
- ISO 14044 « Management environnemental, Analyse du cycle de vie, Exigences et lignes directrices ».

Elle a été réalisée à partir de Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES) établies suivant la norme NF P 01 010, et a été soumise à la revue critique, conformément à la norme ISO 14044, d'un panel d'experts confortant la fiabilité des résultats.

Le panel d'experts est formé par :

- Jacques CHEVALIER, Ingénieur d'études et recherche au Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB – Division environnement), Expert ACV ;
- Jean-Marie PAILLE, ingénieur à la direction des techniques et des méthodes de SOCOTEC, expert béton armé et précontraint ;
- Robert LE ROY, chercheur à l'École Nationale des Ponts et Chaussées, expert bois.

L'étude vise à comparer les impacts environnementaux d'une structure en béton précontraint à une structure mixte - béton et bois lamellé-collé pour un bâtiment de stockage de 12 000 m² composé de deux cellules de 6 000 m² séparées entre elles par un mur coupe-feu.

Cette étude a été réalisée pour une exécution en France, sur des bases de données françaises et avec des produits fabriqués en France.

4.1.1 - Les principes et hypothèses de l'étude

Toute l'étude est basée sur les FDES accessibles au public sur la base INIES (www.inies.fr), tant pour le bois lamellé-collé que pour le béton et le bac acier. Ces fiches détaillent les impacts environnementaux d'une poutre support de plancher en béton et en bois lamellé-collé sur une durée de vie de 100 ans, et d'un bac acier support d'étanchéité sur une durée de vie de 50 ans.

4.1.1.1 - L'unité fonctionnelle

Les FDES ont été transformées en « grandeur réelle » afin de correspondre au bâtiment de 12 000 m², l'unité fonctionnelle de l'étude étant : « d'assurer la stabilité d'un bâtiment de 12 000 m² de hauteur sous poutre de 10 m sous l'action de charges verticales (poids propre de la couverture en bac acier avec isolation étanchéité, charges accrochées à la toiture, charges d'exploitation, neige) et des charges horizontales liées aux efforts de vent appliqués sur les façades, et de résister au feu pendant une durée minimale d'une demi-heure. La durée de vie prise en compte est de 100 ans. ».

4.1.1.2 - Les hypothèses

L'analyse est faite sur les fondations, les poteaux principaux et secondaires, les poutres, les pannes, les éléments de contreventement, les entretoises, le mur coupe-feu, les façades et le support d'étanchéité.

Quel que soit le matériau utilisé le système constructif est le même, à savoir : des portiques assemblés sur le site, à partir de poteaux et poutres sur lesquelles sont posées les pannes courantes et de rives. Cet ensemble de composants préfabriqués en usine supporte la couverture en bac acier avec l'isolation et l'étanchéité.

Les poteaux sont encastrés dans des massifs de fondation par encuvement et les liaisons poteaux-poutres sont dites articulées.

En rives du bâtiment, les poteaux principaux et les poteaux intermédiaires permettent la fixation des façades, celles-ci formant l'enveloppe du bâtiment.

Des hypothèses communes ont été prises en compte :

- l'implantation ;
- la géométrie ;
- les actions extérieures ;
- les charges permanentes et d'exploitation.

Afin de simplifier la comparaison entre les deux systèmes, il n'a été pris que les composants différents :

- les composants horizontaux (poutres, pannes, éléments de contreventement, entretoises)
- deux éléments complémentaires :
 - le bac acier support d'étanchéité (différence de poids surfacique liée à l'écart des entraxes des pannes)
 - le différentiel d'armatures de poteaux principaux entre les deux types d'ossatures (dû à la différence de poids des deux structures)

4.1.1.3 - La modélisation de l'étude

Le dimensionnement des deux types de structures a été validé respectivement par les deux experts spécialisés de la revue critique.

La méthode de calcul des impacts environnementaux des différents composants présents dans les deux systèmes est expliquée dans les paragraphes suivants :

• Éléments horizontaux (poutres, pannes, entretoises et contreventement)

Les données issues des Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES) de la « poutre en béton précontraint » et de la « poutre en bois lamellé-collé » sont la base de l'ACV.

Il a été considéré que l'impact environnemental des éléments linéaires pour les deux matériaux utilisés est proportionnel au volume.

Connaissant les volumes des différents éléments et leurs quantités utilisées, il a été déterminé, en se basant sur les FDES des poutres étudiées, les impacts environnementaux correspondants.

• Bac acier support d'étanchéité

Les données indiquées dans la FDES « support d'étanchéité en acier » ont été la référence.

Les bacs en acier couvrant les deux types de structures étudiés présentent des caractéristiques dimensionnelles différentes liées à l'écart d'entraxe des pannes.

Il a été considéré que l'impact environnemental d'un bac acier est proportionnel à sa masse surfacique et que celui-ci est remplacé au bout de 50 ans (durée de vie indiquée dans sa FDES), les impacts environnementaux seront donc multipliés par deux pour la durée de vie du bâtiment de notre étude.

Connaissant la surface de la toiture en bac acier (identique pour les deux systèmes étudiés) ainsi que les masses surfaciques respectives, toujours en se basant sur la FDES « support d'étanchéité en acier », les impacts environnementaux correspondants sont déterminés.

• **Différentiel d'armatures dans les poteaux principaux**

Les poteaux principaux en béton présentent la même section pour les deux types de structures mais avec une différence au niveau des quantités d'acier mises en œuvre.

Le calcul de la différence de masse d'acier entre les poteaux principaux de chaque ossature et l'utilisation du profil environnemental « rond de béton » étudiée par l'IISI (International Iron and Steel Institute) ont permis de quantifier les impacts environnementaux engendrés par l'écart de ferrailage dans les poteaux.

4.1.2 - Les résultats

Afin de tenir compte des éventuelles incertitudes sur les données, les écarts inférieurs à 15 % ont été négligés.

Les résultats des indicateurs environnementaux et leur comparaison pour les deux systèmes constructifs puis pour les bâtiments clos et couverts (comparaison globale pour chacun des systèmes constructifs) pour une durée de vie de 100 ans sont présentés dans les paragraphes suivants :

4.1.2.1 - La comparaison des impacts environnementaux des deux systèmes

Une première analyse du tableau de la page 62 révèle que sur 16 impacts environnementaux :

- 8 sont favorables à la structure béton
- 3 sont favorables à la structure mixte (béton - bois lamellé-collé)
- 5 sont considérés comme équivalents (écarts inférieurs à 15 %)

• **Les impacts environnementaux favorables à la structure béton**

- Indicateur n° 1 : Consommation de ressources énergétiques

Selon la norme NF P 01 010, l'énergie primaire totale est la somme de toutes les sources d'énergie qui sont directement puisées dans les réserves naturelles. Elle correspond à l'addition des énergies consommées nécessaires aux différents process (énergie procédé) et des énergies contenues dans les matériaux utilisés (énergie matière).

Bilan environnemental comparé des deux types d'ossatures – Durée de vie 100 ans						
N°	Indicateurs environnementaux	Unités	Ossature en béton précontraint	Ossature mixte : béton – bois lamellé-collé	Écart pour toute la DVT	Rapport = Sup/Inf
			Valeur de l'indicateur pour toute la DVT	Valeur de l'indicateur pour toute la DVT		
1	Consommation de ressources énergétiques					
	Énergie primaire totale	MJ	7 400 000	14 000 000	-6 600 000	1,89
	Énergie renouvelable	MJ	580 000	7 500 000	-6 920 000	12,93
	Énergie non renouvelable	MJ	6 700 000	6 400 000	300 000	1,05
2	Épuisement de ressources (ADP)	kg éq. anti-moine (Sb)	2 450	2 400	50	1,02
3	Consommation d'eau totale	litre	5 000 000	6 300 000	-1 300 000	1,26
4	Déchets solides					
	Déchets valorisés (total)	kg	240 000	410 000	-170 000	1,71
	Déchets éliminés					
	Déchets dangereux	kg	200	500	-300	2,50
	Déchets non dangereux	kg	30 000	270 000	-240 000	9,00
	Déchets inertes	kg	800 000	1 000	799 000	800,00
	Déchets radioactifs	kg	20	35	-15	1,75
5	Changement climatique	kg éq. CO ₂	500 000	100 000	400 000	5,00
6	Acidification atmosphérique	kg éq. CO ₂	2 000	2 400	-400	1,20
7	Pollution de l'air	m ³	61 400 000	60 200 000	1 200 000	1,02
8	Pollution de l'eau	m ³	82 096	57 000	25 096	1,44
9	Destruction de la couche d'ozone stratosphérique	kg CFC éq. R11	3,13 E-17	0	-	NG
10	Formation d'ozone photochimique	kg éq. éthylène	80	246	-166	3,08

DVT 100 ans
NG négligeable



en faveur du béton
en faveur du bois LC

La différence d'énergie primaire totale entre les deux types de structures est expliquée par la présence de l'énergie matière renouvelable pour la structure mixte - béton et bois lamellé collé - que l'on ne retrouve pas pour la structure béton. En effet, selon la FDES « poutre lamellé collé », le bois utilisé est issu d'exploitations forestières gérées durablement. Le caractère combustible de ce bois lui confère une importante énergie matière, qui ne pourra pas - du fait de son utilisation en élément de charpente - être exploitée en tant que telle.

- Indicateur n° 3 : Consommation d'eau totale

L'écart de consommation entre les deux systèmes constructifs est de 21 % en faveur du béton.

Cette consommation d'eau provient de la phase « production » du cycle de vie des deux systèmes : une structure mixte - béton et bois lamellé collé - entraînerait donc une consommation d'eau plus importante qu'une structure en béton.

- Indicateur n° 4 : Déchets solides

- Déchets éliminés dangereux

Ces déchets sont produits en phase « production ». L'écart est de 60 % en faveur de la structure béton mais sur de faibles quantités.

- Déchets éliminés non dangereux

Ces déchets concernent principalement le bois lamellé-collé en fin de vie et stockés dans un Centre d'enfouissement technique de classe 2 (nécessitant des mesures de surveillance et de gestion du site).

- Déchets éliminés radioactifs

Ces déchets sont produits en phase « production ». L'écart est de 40 % en faveur de la structure béton mais sur de faibles quantités.

- Indicateur n° 6 : Acidification atmosphérique

L'écart est de 17 % en faveur de la structure béton.

Les flux qui contribuent essentiellement à cet impact environnemental sont :

- les oxydes d'azote NO₂ avec 51 % pour le système constructif en béton contre 71 % pour le mixte

- les oxydes de soufre SO₂ avec 47 % pour le système constructif en béton contre 28 % pour le mixte

Indicateur n° 10 : Formation d'ozone photochimique

Pour les deux systèmes constructifs étudiés, cet impact provient essentiellement du flux Hydrocarbures en phase « production » du cycle de vie.

L'écart est de 80 % en faveur de la structure béton.

• Les impacts environnementaux favorables à la structure mixte – béton et bois lamellé collé

- Indicateur n° 4 : Déchets solides

- Déchets éliminés inertes

Les déchets inertes correspondent pour leur quasi-totalité aux déchets de béton générés lors de la démolition de l'ouvrage. Ils peuvent être stockés en Centre

d'enfouissement technique de classe 3. Cependant, ces déchets sont facilement valorisables principalement comme granulats secondaires.

- Indicateur n° 5: Changement climatique

L'écart de dégagement de CO₂ sur tout le cycle de vie entre les deux systèmes constructifs est de 405 000 kg. Ceci équivaut à un semi-remorque de 40 tonnes parcourant 134 000 km sur la durée de vie du bâtiment soit 100 ans⁴, ce qui somme toute à l'échelle d'un entrepôt en vie est négligeable.

Pour le système constructif béton, le flux qui contribue potentiellement à cet impact environnemental est le dioxyde de carbone CO₂ (96 %).

Pour le système constructif mixte, les flux qui contribuent potentiellement à cet impact environnemental sont: le méthane CH₄ (62 %), le dioxyde de carbone CO₂ (31 %) et le protoxyde d'azote NO₂ (7 %).

- Indicateur n° 8: Pollution de l'eau

L'indicateur de pollution de l'eau reflète l'impact environnemental résultant des émissions dans l'eau et dans le sol (par transfert de pollution).

Les volumes d'eau affichés dans les indicateurs « pollution de l'eau » sont des représentations de la somme des volumes nécessaires pour diluer individuellement les flux de substances toxiques ou écotoxiques rejetées tout au long du cycle de vie du produit jusqu'à ce que leurs concentrations soient conformes aux valeurs seuil de la réglementation ICPE.

L'écart est de 31 % en faveur de la structure mixte - béton et bois lamellé collé.

- **Les impacts environnementaux neutres**

- Indicateur n° 1 : Consommation de ressources énergétiques – Energie non renouvelable

Dans le cas du système constructif en béton, l'énergie primaire totale est principalement composée d'énergies « procédé » qui sont majoritairement non renouvelables.

Dans le cas du système constructif mixte - béton et bois lamellé collé, l'énergie primaire est composée d'énergies « procédé » non renouvelables, dont la valeur est proche de celle du système béton à laquelle s'ajoute l'énergie « matière » renouvelable (comme cela a été vu au paragraphe (1) Les impacts environnementaux favorables à la structure béton).

- Indicateur n° 2: Epuisement de ressources

Dans les systèmes étudiés, l'indicateur « Epuisement de ressources » est corrélé aux ressources énergétiques non renouvelables. Ceci explique donc l'écart de 1 % obtenu lors de la comparaison des deux systèmes constructifs.

4. Données DEAM™ – ECOBILAN: un semi-remorque de 40 tonnes dégage 75,6 g équivalent CO₂ par km et par tonne.

- Indicateur n° 4 : Déchets solides

Déchets valorisés

L'indicateur « déchets valorisés » précise la quantité de matériaux destinés à être valorisés dans une filière avale existante au moment de la réalisation de l'analyse. Plus cet indicateur est élevé plus la quantité de matières valorisées est importante et reflète par conséquent l'économie de matières vierges et de leurs traitements éventuels dans une filière industrielle.

L'écart entre les deux systèmes concerne la fabrication des poutres en bois lamellé collé, la fabrication de poutres en béton produit très peu de déchets.

C'est pour cette raison que cet impact est considéré comme neutre dans cette étude. En effet, le questionnement qui peut être fait est le suivant : Est-il préférable d'avantager un système constructif qui produit davantage de déchets et qui a la possibilité de les valoriser ou un système constructif qui en produit moins et qui donc de ce fait ne peut pas valoriser la même quantité de déchets ? Ou inversement.

- Indicateur n° 7 : Pollution de l'air

Les volumes d'air affichés dans l'indicateur « Pollution de l'air » sont des représentations de la somme des volumes nécessaires pour diluer individuellement les flux de substances toxiques ou écotoxiques rejetées tout au long du cycle de vie produit jusqu'à ce que leurs concentrations soient conformes aux valeurs seuil de la réglementation ICPE.

Dans le cas de nos deux systèmes constructifs, l'écart est de 2 %.

- Indicateur n° 9 : Destruction de la couche d'ozone stratosphérique

Cet indicateur a été négligé compte tenu de sa valeur de l'ordre de 10-17.

- **Conclusion**

Cette première analyse permet de mettre en lumière les points forts mais également les points faibles des deux systèmes constructifs, l'un par rapport à l'autre. La structure béton « tire son épingle du jeu » avec un nombre important d'impacts environnementaux meilleurs que la structure mixte (respectivement 8 contre 3). Néanmoins, il est important de rappeler que ce sont les priorités environnementales du maître d'ouvrage qui permettent d'effectuer un choix judicieux, car il est important de rappeler qu'un système constructif ne peut pas répondre à toutes les exigences souhaitées en matière d'impacts sur l'environnement.

4.1.2.2 - La comparaison des impacts environnementaux pour le bâtiment clos et couvert

Afin de se faire une idée concrète des impacts environnementaux et d'effectuer une comparaison plus réaliste d'un projet, il est préférable de le considérer dans sa globalité. C'est pour cette raison qu'une analyse portant sur le bâtiment clos et couvert pour chacun des systèmes constructifs a été réalisée.

Bilan environnemental comparé – Bâtiment de 12 000 m² clos et couvert – Durée de vie 100 ans						
N°	Indicateurs environnementaux	Unités	Ossature en béton précontraint	Ossature mixte : béton – bois lamellé-collé	Écart pour toute la DVT	Rapport = Sup/Inf
			Valeur de l'indicateur pour toute la DVT	Valeur de l'indicateur pour toute la DVT		
1	Consommation de ressources énergétiques					
	Énergie primaire totale	MJ	50852693	57485963	-6633270	1,13
	Énergie renouvelable	MJ	2213702	9172231	-6958529	4,14
	Énergie non renouvelable	MJ	48297342	47997855	299487	1,01
2	Épuisement de ressources (ADP)	kg éq. anti-moine (Sb)	19938	19901	37	1,00
3	Consommation d'eau totale	litre	22270701	23597095	-1326394	1,06
4	Déchets solides					
	Déchets valorisés (total)	kg	5953982	6125733	-171751	1,03
	Déchets éliminés					
	Déchets dangereux	kg	3974	4282	-308	1,08
	Déchets non dangereux	kg	687361	929387	-242026	1,35
	Déchets inertes	kg	10132682	9307884	824799	1,09
	Déchets radioactifs	kg	338	353	-14	1,04
5	Changement climatique	kg éq. CO ₂	3314827	2911193	403634	1,14
6	Acidification atmosphérique	kg éq. CO ₂	13137	13552	-414	1,03
7	Pollution de l'air	m ³	268050929	266854929	1196000	1,00
8	Pollution de l'eau	m ³	437893762	437868624	25138	1,00
9	Destruction de la couche d'ozone stratosphérique	kg CFC éq. R11	3,13 E-17	0	0	NG
10	Formation d'ozone photochimique	kg éq. éthylène	818865	819025	-340	1,00

DVT 100 ans
NG négligeable



en faveur du béton
en faveur du bois LC

Par rapport à l'analyse comparative précédente, tous les éléments communs aux deux systèmes ont été intégrés : le dallage béton, les fondations, les poteaux principaux, le mur coupe-feu avec tous ces composants, les poteaux intermédiaires de rives, les façades supposées double peau métallique, l'isolation et l'étanchéité de la toiture en bac acier. L'objectif étant de connaître l'importance des écarts observés entre les deux systèmes comparés par rapport au bâtiment clos et couvert.

Les résultats des indicateurs environnementaux pour les deux systèmes réalisés en clos et couvert ainsi que leur comparaison pour une durée de vie de 100 ans sont présentés dans le tableau ci-contre. Ce tableau met bien en évidence que les écarts entre les deux systèmes constructifs se réduisent. En effet, sur les 16 impacts environnementaux 14 sont équivalents (inférieur au seuil fixé de 15 %). Les deux restants sont en faveur du bâtiment clos et couvert ayant une structure béton (Indicateurs : « Energie renouvelable », « Déchets solides éliminés non dangereux »).

Cette analyse globale fait tomber des préjugés bien ancrés concernant le caractère « non environnemental » du matériau béton. Ces comparaisons basées sur une méthode scientifique et normalisée permettent de prouver que finalement, un entrepôt de stockage de 12 000 m² ayant une durée de vie de 100 ans avec une structure béton a un impact environnemental équivalent voire moindre que ce même entrepôt avec structure mixte (béton et bois lamellé collé).

4.1.2.3 - Éléments non pris en compte dans l'étude

L'augmentation de la durée de stabilité au feu des ossatures

L'étude précédente a été réalisée avec une stabilité au feu d'une durée d'une demi-heure. Généralement, une stabilité au feu d'au moins une heure est demandée pour un bâtiment de stockage. Pour la structure béton, il n'y a aucune incidence tant au niveau de l'équarrissage des éléments que des assemblages : la structure est stable au feu une heure.

En ce qui concerne la structure mixte, la section rectangulaire des pannes en bois lamellé collé passe de R10 x 50 à R18 x 65. Les assemblages nécessitent des dispositions particulières (augmentation des masses d'acier, voire protection par flocage ou par peinture intumescente, etc.). Tout ceci entraîne évidemment des impacts environnementaux plus importants pour la structure mixte qui n'ont pas été pris en compte dans cette étude.

La carbonatation du béton

Au cours de sa vie, le béton par le phénomène chimique de carbonation réabsorbe du CO₂ atmosphérique. Ce phénomène n'a pas été comptabilisé dans la FDES « Poutre en béton précontraint » et autres données utilisées sur le béton. Il n'a donc pas été pris en compte dans cette étude. Cependant, une estimation a été réalisée afin de déterminer l'incidence de la carbonatation sur les résultats obtenus.

Les recommandations actuelles conduisent, pour le différentiel de béton exposé entre le bâtiment à ossature béton et celui à ossature mixte béton et bois lamellé collé -, (en ne tenant pas compte des poteaux et des fondations) à une réabsorption d'environ 18 tonnes de CO₂ sur les 100 ans d'exploitation du bâtiment. Cette quantité correspond à 4,4 % du différentiel des émissions en équivalent CO₂ du cycle de vie entre le bâtiment à ossature béton et celui à ossature mixte – béton et bois lamellé collé. Notons que le béton continuera de carbonater en fin de vie lors de son stockage en centre d'enfouissement pour déchets inertes ou le cas échéant lors de sa valorisation en granulats secondaires. Ce processus n'a pas été comptabilisé dans cette estimation.

La comparaison en cas d'incendie généralisé de l'entrepôt étudié

En cas d'incendie généralisé de l'ouvrage, 387 000 kg d'équivalent CO₂ stockés dans le système étudié en bois lamellé collé seront émis dans l'atmosphère (selon la FDES « Poutre en bois lamellé collé »), ce qui correspond à l'écart entre les deux systèmes analysés. Ceci détruit instantanément toute la contribution à lutter contre le changement climatique. Les éventuels effets toxiques des colles n'ont pas été pris en compte dans cette étude.

Les fondations

Dans le cas d'une structure mixte, les fondations doivent permettre de compenser la légèreté de la structure. C'est pour cette raison que généralement, une quantité plus importante de béton est utilisée pour la réalisation de ces fondations. Cette quantité supplémentaire de béton n'a pas été comptabilisée dans cette étude.

4.1.3 - Les conclusions

Les conclusions suivantes sont extraites de l'étude source « Analyse de cycle de vie – Bilan environnemental comparé – Bâtiment de stockage de 12 000 m² ».

4.1.3.1 - Bilan environnemental comparé des deux types d'ossatures

Importances relatives des phases du cycle de vie

La production des produits est l'étape déterminante dans la contribution à l'impact environnemental.

Fin de vie

Les deux structures sont considérées totalement mises en décharge. Les volumes sont identiques.

- Décharge « surveillée » pour le bois lamellé-collé, ce qui est absurde: le bois devrait être brûlé en fin de vie mais évidemment tout le bénéfice CO₂ serait éliminé!
- Décharge « ordinaire » pour le béton.

Comparaison des performances

Sur les 16 critères environnementaux de la norme NF P 01 010 :

- 8 sont favorables au béton
- 3 sont favorables au bois lamellé collé
- 5 sont considérés équivalents (écarts inférieurs à 15 %)

Durée de vie

Compte tenu de l'absence totale d'entretien des deux types d'ossature et du renouvellement du bac acier de toiture au bout de 50 ans, les impacts environnementaux sont modifiés à cette date.

4.1.3.2 - Bâtiment de 12 000 m² en clos et couvert sur une durée de vie de 100 ans

Part de la structure dans l'impact environnemental global

Cette analyse globale permet de déterminer la part relative des deux types de structure. Celle-ci fait apparaître que les éléments communs sont en fait prépondérants.

- Consommation de ressources énergétiques - énergie primaire totale
 - Ossature béton: 14 %
 - Ossature mixte: 25 %
- Changement climatique
 - Ossature béton: 15 %
 - Ossature mixte: 4 %
- Acidification atmosphérique
 - Ossature béton: 15 %
 - Ossature mixte: 18 %
- Épuisement des ressources
 - Ossature béton: 12 %
 - Ossature mixte: 12 %

Écarts des impacts environnementaux entre les deux systèmes constructifs pour 100 ans

Les écarts entre les deux systèmes se réduisent pour finalement être dans leur quasi-totalité inférieurs au seuil fixé de 15 % : deux critères sont en faveur de l'ossature en béton et quatorze sont considérés équivalents.

4.1.3.2 - Conclusion de la revue critique – Extrait

« À travers cette étude, l'ACOB a réalisé un important effort de rationalisation, clarification et de neutralité. Elle est assez pédagogique tant par sa richesse que par ses conclusions. Outre les principaux résultats, la conclusion contient une synthèse portant les messages essentiels »⁵.

4.2 Réglementation et normalisation

Conception des lieux de travail – Obligations des maîtres d'ouvrage, Réglementation, INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles), 2005.

Référentiel NF Bâtiments Tertiaires – Démarche HQE® – Plateforme logistique, CERTIVEA, 2008.

Référentiel NF Bâtiments Tertiaires – Démarche HQE® – Bureau et Enseignement, CERTIVEA, 2008.

Référentiel NF Bâtiments Tertiaires – Démarche HQE® – Plateforme logistique décliné pour les bâtiments de messagerie, CERTIVEA, 2009.

5. Extrait de la synthèse de la revue critique de l'étude « Analyse de cycle de vie – Bilan environnemental comparé de deux systèmes constructifs – Bâtiment de stockage de 12 000 m² ».

4.3 Bibliographie

WEMELBEKE (Guillaume) et MARIOTTE (Henri), « L'essor de grandes zones logistiques accompagne la massification des flux routiers », SESP en Bref, n° 15, mars 2007, p. 1-4.

« Implantation des lieux de travail – Prévention des risques professionnels dès la conception », Cahier de notes documentaires – Hygiène et sécurité du travail, INRS, n° 174, 1999.

Créer ou réaménager une plate-forme logistique, Fiche Pratique de Sécurité ED 94, INRS, 2002.

Les lombalgies, 2007 et Les troubles musculo-squelettiques (TMS) du membre supérieur, 2008, Dossiers Web, INRS, www.inrs.fr.

« Les sols industriels », Travail et sécurité, n° 629, mai 2003, p. 21-30.

L'éclairage naturel, Fiche pratique de sécurité ED 82, INRS, 2008.

CHANVILLARD (Gilles) École Nationale des Travaux Publics d'État.

Le matériau béton : connaissances générales, Aléas, 1999.

La durabilité des bétons, Réf T 48, Collection Technique, CIMbéton, 2006.

Béton et confort : la thermique, Réf B40, Collection Technique, CIMbéton, 2007.

« Le béton pérenne pour la protection incendie », Solutions béton, Construction Moderne, n° 113, avril 2003, p. 15-22.

Béton et confort : la santé, Réf B40, Collection Technique, CIMbéton, 2007.

« Le traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques pour l'exécution des remblais et des couches de forme », *Routes*, n° 89, 2004.

« Les chaussées en béton : contribution aux choix des techniques », *Routes*, n° 75, 2001.

Carrefours giratoires : des solutions durables en béton de ciment, Réf T56, Collection Technique, CIMbéton, 2005.

« Carrefours giratoires en béton : la solution pour la gestion des conflits, la fluidité du trafic et la sécurité des usagers », *ROUTES*, n° 107, mars 2009, p. 3-14.

Une solution durable contre l'orniérage : le Béton de Ciment Mince Collé « BCMC », Réf T60, Collection Technique, CIMbéton, 2004.

Voiries et aménagements urbains en béton : Conception et dimensionnement, Réf T50, Collection Technique, CIMbéton, 2009.

Aménagements urbains et produits de voirie en béton, conception et réalisation Réf T54, Collection Technique, CIMbéton, 2007.

« Le pavé béton à infiltration : la solution pour évacuer les eaux pluviales », *Routes*, n° 104, juin 2008, p. 13-15.

« Des pavés drainants végétalisés pour trottoirs et allées », *Routes*, n° 92, juin 2005, p. 14-15.

« Pavages drainants : un revêtement écologique qui s'inscrit dans le cadre d'une gestion intégrale des eaux », *Routes en béton et pavages*, Dossier Web, Centre de recherches routières belge, 2009, www.crr.be

Dossier Technique TX Active®, Ciments Calcia, 2006.

Vers une architecture de composants en béton : Conception des bâtiments d'industrie de commerce et de stockage, Réf B60, Collection Technique, CIMbéton, 2006.

Les dallages industriels en béton : Analyse et prescription, Réf B96, Collection Technique, CIMbéton, 2009.

Les solutions béton, EUROBETON France, 2006.

Murs séparatifs coupe-feu et façades à fonction d'écran thermique en béton, Réf B67, Collection Technique, CIMbéton, 2006.

Guide pour l'utilisation d'éléments en béton architectonique dans les projets d'architecture, Réf B62, Collection Technique, CIMbéton, 2009.

Analyse de cycle de vie – Bilan environnemental comparé – Bâtiment de stockage de 12 000 m², ACOB, 2009.

4.4 Adresses et sites utiles

ADEME – Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie :
<http://www.ademe.fr>

Cimbeton www.infociments.fr

ACOB www.acob.net

FIB www.fib.org

Cerib www.cerib.com

SNBPE www.snbpe.org

SNPB www.snpb.org

Crédit photographique

SAGL, Cimbéton, Lafarge, Ciment Calcia,
Eurobéton, Socli, tous droits réservés.

Couverture et illustrations

David Lozach

Mise en page et réalisation

Amprincipe Paris
R.C.S. Paris B 389 103805

Impression

Imprimerie Chirat



CIM *béton*

CENTRE D'INFORMATION SUR LE CIMENT ET SES APPLICATIONS

7, place de la Défense • 92974 Paris-la-Défense Cedex • Tél. : 01 55 23 01 00 • Fax : 01 55 23 01 10

E-mail : centrinfo@cimbeton.net • internet : www.infociments.fr